平成16年度経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課委託事業
「循環ビジネス人材教育・循環ビジネスアドバイザー派遣事業」研修用テキスト

環境経営実務コース

Ⅲ　環境適合製品・サービス支援手法コース

ⅢB　環境適合設計（DfE）／製品アセスメント

改訂版

平成17年3月

社団法人 産業環境管理協会

平成16年度経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課委託事業
「循環ビジネス人材教育・循環ビジネスアドバイザー派遣事業」研修用テキスト

環 境 経 営 実 務 コ ー ス

Ⅲ　環境適合製品・サービス支援手法コース

ⅢB　環境適合設計(DfE)/製品アセスメント

改訂版

平成17年3月

社団法人 産業環境管理協会

はじめに

我が国企業における環境経営の状況をみると、ISO 14001認証取得事業所の増加、環境報告書作成企業の拡大、自主的な環境目標の設定、環境パフォーマンス等の情報公開、環境に配慮した製品・サービスの提供など、民間企業が独自に環境保全に係る取り組みを実施する例が多くなってきているものの、これらの取り組みは一部の企業にとどまっているのが現状である。

特に、中小企業等は、昨今の国際競争激化による大きな打撃を受けている中で、社会・取引先・海外から環境問題への対応、環境経営の推進を求められているが、環境経営を担う人材の欠如や資金的問題から、具体的実施に至らないのが実状である。

そこで、中小企業等の経営者層、管理者層及び実務者層を対象に、環境経営の理解促進を図り、その実践的展開に資するための情報提供の一環として、環境経営の実践に有効な環境管理手法等の研修を全国的に展開するものである。

この研修は、環境経営の実践に有効な環境管理手法等の概要を、経営者及び管理者等に、講義形式で理解していただくための“環境経営概論コース”と、環境経営実務に有効な環境経営手法類を、実務者に講義形式及び演習形式（一部）で学んでいただくための“環境経営実務コース”から構成されている。

本書は、これらの研修におけるテキストとして、さらには、事業活動に伴う環境経営上の問題の予防や解決に役立てていただくための参考書として活用できるように、実用性と分かりやすさに留意して執筆・編集した、以下の全10巻から成る報告書の一部である。

（1）環境経営概論コース（全1巻）

（2）環境経営実務コース（全9巻）

①環境リスク管理コース

○有害化学物質管理　○リサイクルシステムと法整備

○環境・廃棄物／リサイクル関連法規　○環境リスク管理の実務

②環境配慮型経営管理支援手法コース

○環境マネジメントシステム／監査／パフォーマンス評価　○環境管理会計

○環境報告書作成実務

③環境適合製品・サービス支援手法コース

○ライフサイクルアセスメント　○環境適合設計（DfE）／製品アセスメント

本書の作成にご協力いただいた監修者、執筆者、その他関係者の皆様に、さらに、ご指導ご支援をくださった経済産業省に深謝する次第である。

本書をはじめとするこれらの各報告書が広く有効に活用され、中小企業等における環境経営の促進支援という所期の目的を果たせることを期待している。

平成17年3月

社団法人産業環境管理協会

会長　南　直哉

■ 英字略語

略語	英文	日本語
BGA	Ball Grid Array	
CAD	Computer Aided Design	
CRT	Cathode Ray Tube	
CSP	Chip Size Package	
DfA	Design for Assembly	
DfDA	Design for Disassembly	解体性設計又は分解性設計
DfE	Design for Environment	環境適合設計
DfX	Design for X	
EM	Engineering Metrics	工学的尺度
EMS	Environmental Management System	環境マネジメントシステム
EPR	Extended Producer Responsibility	拡大生産者責任
EU	European Union	欧州連合
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	
IC	Integrated Circuit	集積回路
IPP	Integrated Product Policy	
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
LCA	Life Cycle Assesment	ライフサイクルアセスメント
LCI	Life Cycle Inventory	ライフサイクルインベントリ分析
MSDS	Material Safety Data Sheet	化学物質安全性データシート 又は化学物質等安全データシート
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development	欧州経済開発協力機構
PC	Part Characteristics	
QFD	Quality Function Deployment	品質機能展開
QFDE	Quality Function Deployment for Environment	環境調和型品質機能展開
TR	Technical Report	技術報告書
UNEP	United Nations Environmental Programme	国連環境計画
VOC	Voice of Customer	顧客要求
VTR	Video Tape Recorder	ビデオ
WBCSD	World Business Council on Sustainable Development	持続可能な開発のための経済人会議
WLP	Wafer Level Package	

■ 法律名略称

略称	正式名
安衛法	労働安全衛生法
オゾン層保護法	特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律
化学物質管理促進法（PRTR法）	特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律
化審法	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律
家電リサイクル法	特定家庭用機器再商品化法
グリーン購入法	国等による環境物品等の調達の促進等に関する法律
資源有効利用促進法	資源の有効な利用の促進に関する法律
省エネルギー法	エネルギーの使用の合理化に関する法律
省エネ・リサイクル支援法	エネルギー等の使用の合理化及び再生資源の利用に関する事業活動促進に関する臨時措置法
廃棄物処理法	廃棄物の処理及び清掃に関する法律
容器包装リサイクル法	容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律

《改訂の概要》

本テキストでは、環境適合設計 (DfE)、特に、環境調和型品質機能展開 (QFDE) の考え方と事例を中心に解説したものです。改訂にあたっては、設計部門だけではなく、購買、生産、販売など、社内全関係部門が関与するQFDEに概念を拡大して、その有効性を高めました。また、実施事例を追加しました。

Contents

目次

市場で勝ち抜くために…

DfE

環境効率
エコデザイン

＋環境対応

安く・早く・
高品質

環境調和型品質機能展開(QFDE)

DfE チェックリスト

製品アセスメント

LCA

拡大生産者責任(EPR)
グリーン調達・グリーンコンシューマー

みんなで参加DfE

① DfEプロジェクト組織化
② 環境調和型製品企画（QFDE）
③ 概念設計
④ 環境側面設計レビュー１
⑤ プロジェクト中間評価
⑥ 詳細設計
⑦ 環境側面設計レビュー２
⑧ プロジェクト最終評価
⑨ 生産・流通の開始

DfEチェックリスト
顧客要求＋環境
顧客重要度＋環境
工学的尺度＋環境

お客様の望んでいるものは…
省エネルギーは… リサイクル性は…

営業
設計
現場
環境

本テキストを読む前に

～本テキストの使い方等～

(1) 趣旨

本テキストは、**DfE** (Design for Environment、日本語では「環境適合設計」などと呼ばれる)の企業への効果的な導入・実施を支援することを目的に作成されたものである。ここで企業とは製造業に属する企業を対象とする。企業の規模は問わず、中小企業にも比較的容易に導入することが可能なように配慮されている。なお、本テキストではDfEと**エコデザイン(Ecodesign)**は同義の単語として扱う。

DfEを実施するための支援ツールとして、**QFDE**(Quality Function Deployment for Environment、環境調和型品質機能展開)について詳しく説明している。また、**LCA**(Life Cycle Assessment、ライフサイクルアセスメント)もDfEの支援ツールであるが、本テキストには詳しく記述していないため、その内容は別のテキストを参照されたい。

(2) スコープ

本テキストで具体的手順を説明するQFDEの対象製品は、テレビ、パソコン等の電化製品、自動車、工作機械等の産業用生産装置が相当する。ただし、本テキストのQFDEの概念的な部分に関しては、これら以外、例えば素材の製造等にも適用可能だろう。

対象部門としては、設計部門だけでなく、調達や生産などの部門の活動をも対象としている。つまり、製造業の設計部門で実行可能な活動だけでなく、調達や生産などの部門で実行可能な活動も対象に含んでいる。

また、製品開発に環境側面を取り入れる部分を説明することが主眼なので、本テキストで製品開発の全てを説明しているわけではない。

(3) 構成

本テキストは以下のような構成となっている。

- 第1章：DfEの概念と具体例、利点などを記す。
- 第2章：DfEの中の製品レビューで用いられ、DfE導入の第一歩と位置づけられるDfEチェックリストと製品アセスメントを説明する。

- 第3章：DfEの中の製品レビューで用いられるLCAを説明する。
- 第4章：QFDEを利用したDfEについて詳しく説明する。QFDEについては、設計部門のみの活動を対象としたもの（以下、設計部門用QFDE）と調達や生産などの部門も対象としたもの（以下、全部門用QFDE）の双方を説明する。全部門用QFDEは設計部門用QFDEを内容的には包含しているが、元来QFDEは設計部門の活動を支援するためのものであるため、本テキストでもまず設計部門用QFDEを説明している。
- 第5章：本テキスト第4章の手順に従って行なったケーススタディの結果を記す。
- 付録：幾つかの有益な情報を付す。

（4）対象者

本テキストの各章は主に以下の人を読者として対象としている。

- 第1章：組織における意思決定責任者（事業部長ら）。
- 第5、付録：DfE実務者。
- 第2、3、4章：上記の両者。

上記の両者共に本テキストの全体を理解するのが最も望ましい。

（5）使い方

- 第1章：組織の**意思決定責任者**が、自社へのDfEの導入に先立って、DfEの概念、得られるものを理解するために使用する。
- 第2、3、4章： まずは、自社製品の環境側面からの現在の位置づけを把握したいという場合には、第2章のDfEチェックリストと製品アセスメント部分を利用する。より詳細に環境影響を把握したいなら、第4章のLCAを利用する。自社製品に対してDfEを本格的に実施したいという場合には、第2、3章に続いて第4章で説明するQFDEを用いた設計・開発も利用する。
  特に**DfE実務者**は、DfEを自社へ導入するに際して、実際の業務手続の中に実装する一つのDfEの手順を理解するために使用する。さらに、自社の分野や業務手順を反映させた自社独自の「DfEマニュアル」を作成するための雛形としても利用できる。また、随所に挿入されたQ&Aは本テキストのDfE手法に対してよくある質問とそれに対する答えを記しているので、第2、3、4章を一通り読んだ後に読むことによっても、より効果的に理解が深まるようになっている。
  他方、組織の**意思決定責任者**は、本テキストのDfEの導入によってなされる製品設計の流れを理解するために使用する。

- 第5章：**DfE実務者**は、本テキストのDfEが企業で実際に製造されている製品に適用された場合の手順とアウトプットをより具体的に理解し、さらに自社への適用方法を十分に理解するために利用する。第4章の実例が第3章に示された手続きのどの部分に相当するのかを各所に示しているので、第3章の復習としても利用できる。
- 付録：**DfE実務者**が、DfEに対する理解を更に深めるために利用する。

Chapter 1

DfE はなぜ必要なのか？

1.1 DfE とは何か？

1.1.1 社会的背景と DfE の目的

(1) 環境問題から企業への要求

1）社会における環境問題の意識の高まり

20 世紀に我々は、現在の大量生産・大量消費・大量廃棄の社会を作り上げてきた。しかしながら、地球環境問題が深刻なものとして社会に認識されつつあり、この社会では持続的発展を見込めないことが明らかになってきた。1972 年にローマクラブが発表した「**成長の限界**」がこの点を指摘したことはあまりにもよく知られている。この限られた地球の上において社会の持続的発展を目指すためには、我々がこれまでに確立した考え方を変える必要がある。従来の経済学も、未来永劫、資源が無限に利用可能であることを仮定しており、地球の有限性を強く認識した現在、既にその仮定が成り立たない部分も出てきている。

そのような流れの中で、1992 年にリオデジャネイロで国連の主催で開かれた**地球サミット**は一つのランドマークだった。その会議では、21 世紀に向けて持続的発展のための「**アジェンダ 21**」の中でいくつかの原理が策定された。その中には、環境汚染コストは汚染した者が負担すべきであるという原理や、持続的発展を実現するためには環境保全は開発プロセスの一部に組み込まれなければならないという原理が含まれている。

産業界でも、地球サミットでとり上げられた問題に対する態度に転換があった。その一つが **WBCSD** の設立だろう。WBCSD は持続的発展に向けて地球的な見解を示すために設立されたビジネスリーダーの国際的グループである。持続的発展を伴った利潤への挑戦と機会が、1992 年の著作“Changing Course”の中で示されている。その中でビジネスのための問題、戦略、行動を実例とともに示し、“**eco-efficiency**”（**環境効率**）という概念を定義している。

DfE：Design for Environment

WBCSD：World Business Council on Sustainable Development、持続可能な開発のための経済人会議

このように、社会のあらゆるところで環境に対する意識が大きな波として押し寄せていることは周知の事実だろう。こうした世の中の流れは、上に述べたようなトップダウン的なものだけではない。「グリーンコンシューマー」と呼ばれる、環境に配慮した商品を好んで購入する消費者も増えつつあり、それを支援する組織も生まれていることも忘れてはいけない。

2）企業と環境の関係

従来、企業の製品設計や開発、さらには販売において考慮されていたのは、安く！　はやく！　高品質！という要素であったとされている。特に日本の製造業はこの競争にもまれながら発展を続けたといえるだろう。一方、21 世紀が「環境の世紀」と呼ばれているように、我々の社会が持続的発展を歩むためには、深刻になりつつある環境問題の解決を避けては通れない。社会のこのような考えは企業にとっても決して他人事ではなくなってきている。実際に、日本を含めた世界各国において、環境に関連する法律や規制の整備が始まっているし、ご存知のように地球温暖化に関しては国際的な取り決めも整備されつつある。このような動きは今後加速することも十分考えられる。また **ISO 14000 シリーズ**において環境に関連する標準化が進んでいる。ISO 14001 の認証取得は企業の自主的な活動と位置づけられているが、取得企業は増加傾向をたどっている。つまり、これからは、価格、スピード、品質のほかに、四つ目の要素、「環境」を加えたものが企業の生命線となることは想像に難くない。まさにいま、企業は環境への対応を迫られているのである。

ISO ：International Organization for Standardization

企業が環境とどのような関係を持っているのか、もう少し具体的にみてみよう。**ISO 14001**（**環境マネジメントシステム**）において、**環境影響**（注 1）は、「組織の活動、製品又はサービスから生じる」としている（**図 1.1-1**）。つまり、環境影響には、企業の活動自体から生じるものと、企業の生産物から生じるものがある。後者を少し詳しくみてみよう。一般に製品は資源の採取に始まって使用後の廃棄に至る**ライフサイクル**を持っているが、そのライフサイクルを通じて資源やエネルギーを投入し、環境へは何らかの排出をしているのである（**図 1.1-2**）。さらに、資源やエネルギーの投入と環境への排出という、環境とのかかわりは複雑なメカニズムを通じて、社会で認識されるいわゆる**環境問題**の一因となっているわけである（**図 1.1-3**）。この部分の考え方や手法は **LCA** として構築されている（詳細は Chapter 3 を参照）。

（注 1）環境影響：地球環境、地域環境に対して及ぼされる変化。地球温暖化はその一例です。

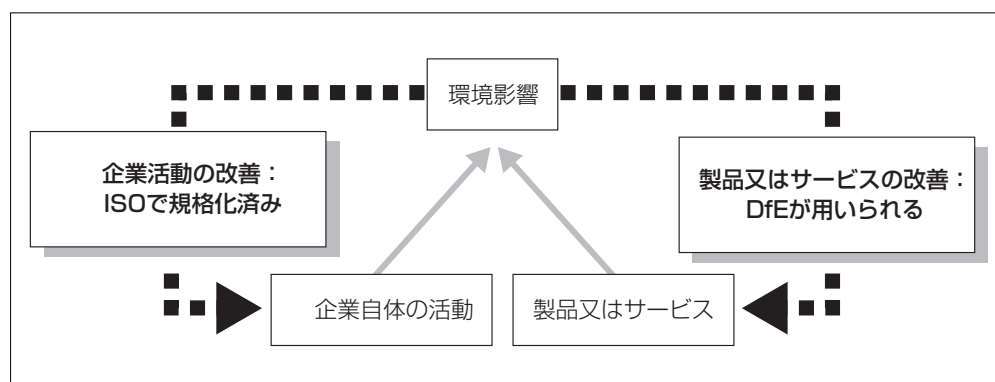
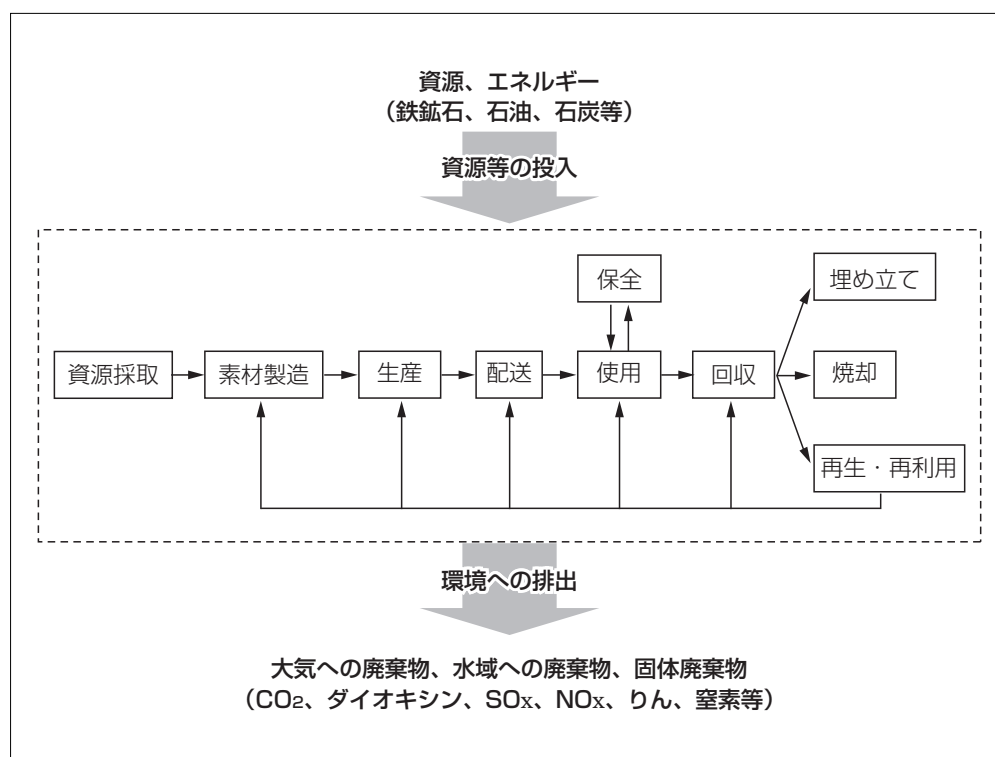
LCA ：Life Cycle Assessment

しかし、評価手法は簡単に言えばものさしであり、製品開発者の作りこみ作業のためには十分な情報を提供してくれるとは限らない。そう言ったことからも DfE (Design for Environment)つまり環境調和型製品設計が重

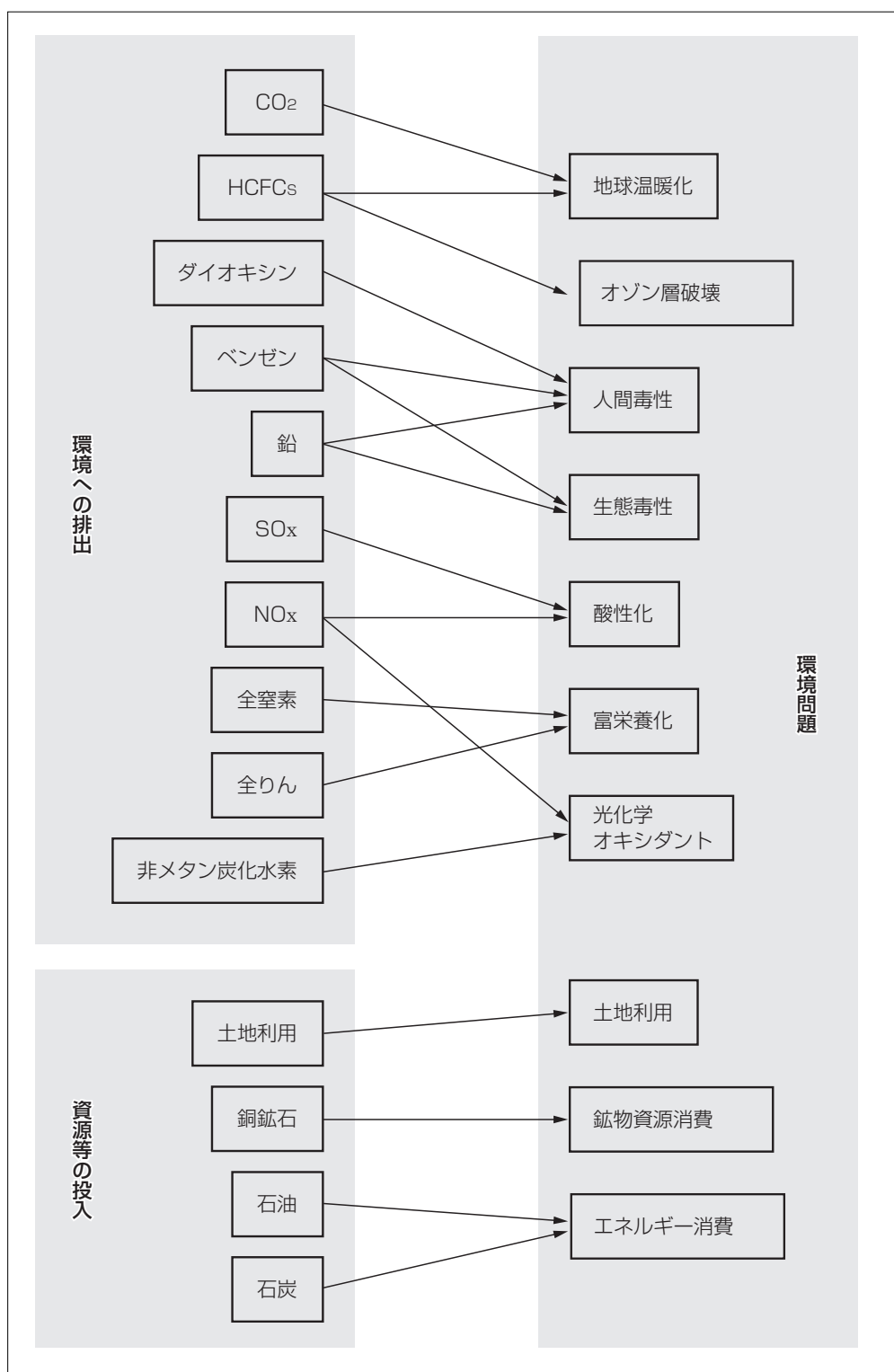
要であるという認識が既に広まっている。事実、ISO14001の運用の中でも、DfEによる自社の製品やサービスによる環境影響の低減を盛り込むことも近年ではめずらしくない。

以上をまとめると、企業が環境影響を低減するためには、企業活動と生産物即ち製品又はサービスからの環境影響を低減する必要がある。その内の前者である企業活動全般を対象とした活動の改善はISOで既に規格化もされている。他方、製品又はサービスから生じる環境影響に焦点を絞って、製品又はサービスに**環境側面**(注1)を取り込む活動にDfEが用いられるのである（図1.1-1）。

（注1）地球環境、地域環境に影響し得る、組織の活動、製品及びサービスの要素を指す。

■図1.1-1　環境影響を低減するための活動の分類

■図1.1-2　製品のライフサイクルを通じた環境とのかかわり

(2) 設計活動への要求

製品又はサービスからの環境影響を低減するために、設計行為の改善が特に求められている背景としては、主に以下の3点が挙げられる。

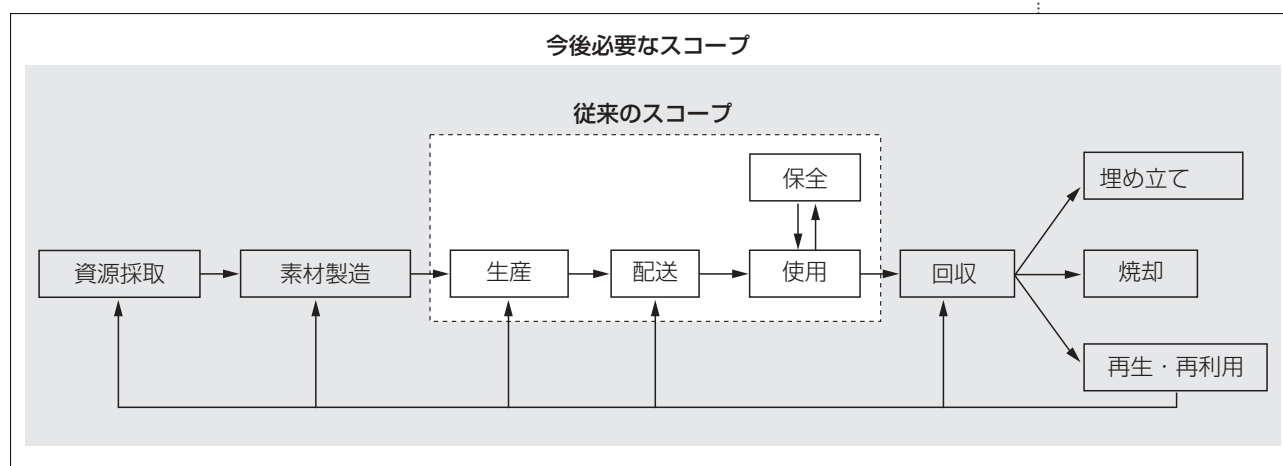
■ 図 1.1-3　環境問題発生の因果関係の例

1）新法規制の施行

近年我が国においては、製品設計に直結するような法規制が施行されている。例えば**資源有効利用促進法**では、「アップグレードが可能な製品の設計・製造等」や「分解が容易となる構造上の工夫や汚れにくく、再生部品として利用しやすい部品の採用等」などを求めている。また、**家電リサイクル法**は家電製品に対して一定の重量率でリサイクルすることを定めたものであり、設計以後の段階でその基準を満たすべく対処するのは困難なものとなっている。まさにこれらは設計における革新を要求しているのである。

さらにこれらの法規制は、**EPR** という考え方が背景として存在していることを忘れてはいけない。EPR とは 1994 年に欧州経済協力開発機構（OECD）によって提唱された概念で、生産者がその生産物の使用後までも一定の責任を負うことを意味している。EPR が考え方として社会に普及してきたことによって、従来は、製造し、顧客に届け、場合によっては修理するまでをスコープ（視野）に入れて活動していた企業に対して、使用の段階を越えてそのスコープを「拡大」させざるを得なくなってきたわけである（**図 1.1-4**）。

EPR ： Extended Producer Responsibility、拡大生産者責任

OECD ： Organization for Economic Cooperation and Development

■ 図 1.1-4　企業のスコープ

2）顧客のニーズの変化

我が国において施行された**グリーン購入法**（次ページのコラム「**グリーン調達**」参照）では、限定された範囲の期間ではあるが、物品を購入する際に環境側面のプロファイルを考慮することを求めている。今後このような動きが加速し、顧客（エンドユーザー又は納入業者）から、製品へ環境側面を取り込んだ製品が求められていくことは十分に見込まれる。実際に、一般消費者にも**グリーンコンシューマー**と呼ばれる人たちが現れている。

新たに要求されている性質としては、**リサイクル性**、**長寿命性**などが挙げられる。

3）設計行為の重要性

これは最も重要な点である。製品の**ライフサイクル**を通じた環境への影響を低減するためには、設計段階での**環境側面**の取り込みこそが鍵となる。例えば消費エネルギー量、素材の種類などの製品の特性は設計段階で決定され、設計より後の段階では変更が効かないからである。

C O L U M N

コラム

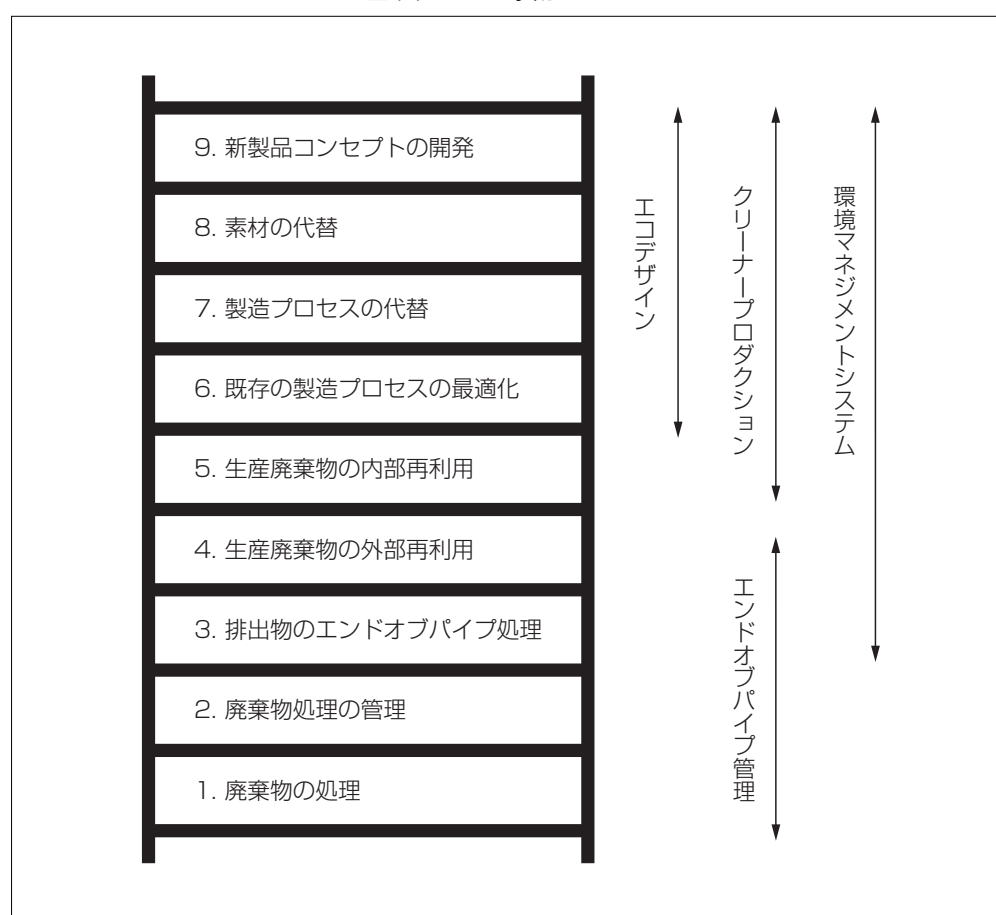
グリーン調達

一般にグリーン調達とは、大口消費者としての企業や自治体が、環境負荷が小さい商品やサービスを購入・調達することを指す。日本におけるグリーン調達の法律制定の動きとしては、2001 年度から本格施行された「国等による環境物品の調達の推進等に関する法律」（グリーン購入法）[1] が挙げられる。そこでは、国や地方公共団体において環境適合製品の調達方針作成と、それに基づいた調達の推進が義務化されている。さらに、環境適合製品に関する情報の提供として製品メーカー、環境ラベル情報提供団体、国などによる環境ラベルの適切な情報提供がうたわれている。グリーン調達が企業にも本格的に浸透した場合、外部からの調達品を用いて製品やサービスを提供する企業では、おのずと環境への負荷が少ないものが選択されるようになることが期待される。例えば、組み立て機械製品を製造する企業では、環境ラベルのような形で提供される情報を利用した上で、環境負荷の小さい部品や素材が選択されるようになることが期待される。とりわけ外部からの調達品が製品内で大きな割合を占めるような場合には、グリーン調達は製品の環境負荷低減に対して有効な方法となり得る。

一方、グリーン調達に対して、一般の消費者がその種の製品を購入することはグリーン購入と呼ばれる。日本においては 1996 年に設立されたグリーン購入ネットワーク[2] によって、グリーン購入を進める上で欠かせない基本原則作りや推奨製品のガイドラインの作成、企画広報活動などが行われている。

参考文献

1）グリーン購入法に関する HP ： http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/index.html
2）グリーン購入ネットワークの HP ： http://www.gpn.jp/

これは 1.1.2 (3) で述べる**国連環境計画**（**UNEP**）が発行する**エコデザイン**のマニュアル[1)] の中の「予防のはしご」（**図 1.1-5**）においても示されている。最も予防的つまり効率的な手段として「新製品コンセプトの開発」が挙げられているのである。さらに、はしごの上位が実施できない場合に限り下位にとどまるものとしており、廃棄物処理の管理などのエンドオブパイプ管理からエコデザインへと進むべきであることを示している。従来の公害防止（Pollution Prevention）活動の考え方とは大きく異なる。

UNEP ： United Nations Environment Programme

■ 図 1.1-5　予防のはしご

1）出典： UNEP, ECODESIGN: a promising approach to sustainable production and consumption, United Nations Publication（1997）を改変

（3）DfE の目的

上記の背景に従い、DfE の目的を次のようにまとめておく。つまり、製品又はサービスの持つ環境への影響をより小さくすることによって、企業が環境にもたらしている影響を低減し、最終的には社会から求められる企業の責任を果たすことに資することが DfE の目的である。

C O L U M N

コ ラ ム

クリーナープロダクション[1)]

クリーナープロダクションは、UNEP がこれを推進しており、十数年の活動の歴史を持っている。UNEP の定義によると、クリーナープロダクションは、全体の効率を増大し、かつ人や環境へのリスクを低減するためのプロセス、製品、及びサービスに対する環境側面の予防的な戦略を継続的に適用することである。また、対象とするプロセスは産業を問わないとしている。さらに、製品に対しては、その全ライフサイクルにわたる環境、健康、及び安全側面のインパクトを減らすことを目的としている。

DfE と比較した場合には、図 1.1-5 にも示されているとおり、クリーナープロダクションの方が、環境負荷を低減するための生産プロセスの改善に重点を置いているという認識が一般的である。

参考文献

1）UNEP クリーナープロダクションの HP ： http://www.unepie.org/pc/cp/home.htm

1.1.2 DfE の動向

（1）歴史的流れの概観

DfE は、1.1.1 (1) で述べた環境に対する社会の関心の高まりにその一端を発している。つまり、近年の社会の環境への意識から製品設計活動における DfE のニーズが高まってきたのである。一方、DfE の中身は設計技術であるが、この種の技術の概念やツールの研究開発は、**DfX** と呼ばれる製品設計・開発手法として、北米地域を中心に 1970 年代に既に始まっていた。つまり、上記の環境問題からの社会的ニーズと DfE という技術的シーズが現在の DfE の基盤をなしているといえるだろう。

DfX ： Design for X、例えば Design for Assembly、Design for Manufacturing など

DfA ： Design for Assembly

DfA を例に挙げて DfE の内容を概観する。従来、組み立て段階の作業の効率性を考慮することなしに設計作業（部品点数や部品の形状の決定作業）を行っていた状況に対して、組み立て時間という評価関数を設計段階に取り込んだのが DfA であり、製造業者全体としてのコスト削減を実現するものだった。DfA を企業現場に実際に導入する際の基礎となるのが組み立て時間を評価する手法と、設計現場で利用される計算機システム

（CAD システム）内のモデルとの結合であったと考えられる。

上に説明した DfA のアナロジーとして DfE は、拡大生産者責任という考え方をベースに企業活動の最適化を図る対象範囲を製品のライフサイクル全体に拡大し、環境側面の評価関数を設計段階に取り込む作業として理解可能である。

CAD ： Computer Aided Design

（2）DfE の概念の分類

一般的に合意の得られた DfE の定義は存在していないのが現状であるが、現在世の中でみられる DfE の種々の概念の指す内容を以下に整理する。

1）指す範囲による分類

DfE といっても、具体的にそれが指し示す内容に差がある場合がしばしばある。製品のライフサイクルの中での企業の役割を認識し、環境影響の低い製品を作り出す活動の一般的な考え方や戦略などは、広義の DfE と考えることができる。一方、環境側面を取り込んだ特定の DfX や設計ルール又はチェックリストの適用は、狭義の（すなわち特定の）DfE と考えられるだろう。

C O L U M N

コラム

DfX (Design for X)

DfX は、“X”の部分に製品競争力を高めるための何らかの視点をおいた製品設計・開発手法の総称である。例えば DfM（Design for Manufacturing、製造性設計）、DfA（Design for Assembly、組立性設計）、DfV（Design for Variety、多品種設計）などがある。その研究開発は北米地域を中心に 1970 年代には既に始まっていた。DfX は、設計以外の段階、つまり製造、配送、使用、保全、廃棄などの段階における任意のパフォーマンスを向上させるメカニズムを設計段階において製品に実装する作業ということができる。したがって、DfX 手法の例は数限りなくあり得るし、実際に今後も新たなものが現れる可能性が十分ある。これは、製造業において設計者に依存する部分が大きいという状況と表裏一体であるとも考えられる。

DfE も DfX の一例だが、DfE 自身も何らかの環境側面に焦点を当てた製品設計・開発手法の総称となっていることが多い。例えば、**DfDA**（Design for Disassembly、分解性設計又は解体性設計）、及び DfR（Design for Recycling、**リサイクル性設計**）などが含まれる。

環境側面を取り込んだ特定のDfXの例としては、Design for Disassembly、Design for Recycle、Design for Reuse、Design for Waste Minimization、Design for Maintenanceなどが実際に挙げられる。

2）適用される設計段階による分類

一般に**機械設計**は設計プロセスの進行に従って、以下の段階に分類される（よく知られたPahl and Beitzによる設計論[2]（**図1.1-6**）による）。

a. 役割の明確化：製品への要求事項を決定する。

b. 概念設計：製品の機能やおおまかな構造を決定する。

c. 実体設計：部品の形状やサイズなどを決定する。

d. 詳細設計：生産手順などを決定する。

DfDA：Design for Disassembly、分解性設計又は解体性設計

DfEも適用される段階によって分類することができる。例えば**DfDA**は、実際に詳細設計段階で支援に用いることの可能な商用のDfDAツールもいくつか存在するが、詳細設計（上記d.）の終了後に初めて適用可能なものである。

3）マネジメントとしてのDfE

DfEは、技術や組織の**マネジメント**の問題としてとらえられ、マネジメントとしてのDfEと認識されることがしばしばある。これは、以下のように理解できる。

技術マネジメントは、通常、市場、企業内の技術力、及び企業業務を結びつける役割を果たすことを目的として、企業内の戦略、組織、製品開発、技術移転に関する問題などを扱う。DfEで求められるのがまさに技術マネジメントにより決定される事柄そのものにほかならないためである。

DfEは設計行為であるために企業の設計部門が中心となって実施するが、環境の問題は必要となる情報と情報のソースが多岐にわたるため、企業内でDfEの実施には横断的なチームを編成することが有効である。そのためDfEの導入には、組織マネジメントが要求される。

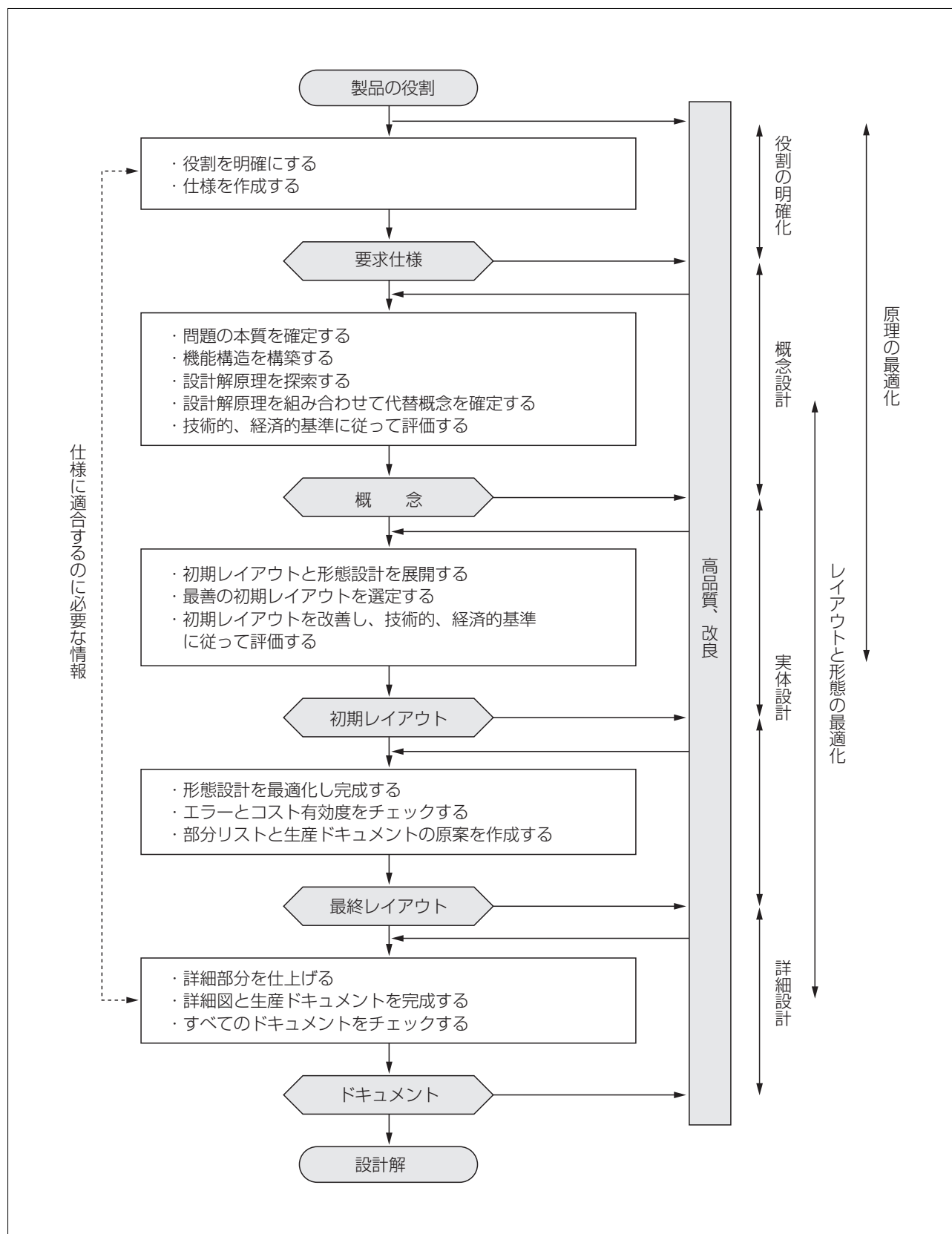
（3）海外の動向

現在DfEは、欧米においても産官学によってさまざまな活動が行われている。ここでは行政側の活動を概観する。

IPP：Integrated Product Policy

EU：European Union、欧州連合

OECDは、**IPP**と呼ばれる税政を含めた環境に関する政策方針を定めつつある。IPPとは、**ライフサイクル**という視点で製品やサービスの**環境側面**を改善することを目的とした、EUレベルの公的な政策である。今後、欧州においてIPPが各国の法規制策定などのベースになっていくという可能性もある。

■ 図 1.1-6　一般的な機械設計の手順

2）出典： Pahl, G. and Beitz, W.： 工学設計 ―体系的アプローチ―, 設計工学研究グループ訳, 培風館（1995）

（注 1）ISO Guide 64 ： Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards

（注 2）JIS Q 0064 ：タイトルは「製品規格に環境側面を導入するための指針」として、1998 年に（財）日本規格協会より発行されています。

TR ： Technical Report

ISO は、1997 年に **ISO Guide 64**（注 1）で、日本では邦訳版 **JIS Q 0064**（注 2）を発行している。その中で、環境側面を製品の規格に導入するための一般的な指針を示した上で、環境改善のための戦略及び方法の一つとして、DfE を「資源の節約、汚染の予防の要素を含む技術として進展中であり、種々の製品分野に適用されつつある」と説明している。しかしながら、具体的な DfE の手順などは示していない。さらに ISO は、DfE に関連したテクニカルレポート（TR）を作成しており、そこでは、「環境側面を製品開発に組み込む実際の作業においては、**DfE、エコデザイン、プロダクト・スチュワードシップ**といったさまざまな用語が用いられる」と書いている。本テクニカルレポートは、DfE の事例を集めたものにすぎず、DfE の明確な定義も見当たらない（コラム「**ISO/TR 14062**」p.18 参照）。

DfE を普及するためのマニュアルとしてよく知られているのは、デルフト工科大学が編さんし、**UNEP** が発行するエコデザインマニュアルである。エコデザインは、UNEP のプログラムとして採用され、普及の努力がなされている。国連諸機関は、1.1.1 (1) で述べた地球サミット、地球温暖化防止会議などを主催し、地球環境問題で数多くの貢献をしているが、DfE の分野でも活動していることになる。普及を目的とした DfE マニュアルに属するものとしては、米国、イギリス、スウェーデンなどでも出版されている。

（4） 日本の動向

日本では、循環型社会形成推進基本法が 2001 年に完全施行されるなど、関連法規制の動きがあることは周知のとおりであるが、DfE に関連しては以下のような動きがある。

学会の活動としては、2000 年の**エコデザイン学会連合**の発足が挙げられる。エコデザイン学会連合は、日本学術会議生産システム学専門委員会がまとめた、エコデザインなどのコンセプトや関連する環境技術の振興などのための提言を具体的に実施する場である。本連合は国内の 50 を超える学協会が連携して構成されており、環境問題の取り組みには従来の学問又は産業の領域を越えた連携が必要であることをよく示しているといえるだろう。

そのほか、例えば**インバースマニュファクチャリング**（コラム p.19 参照）や**ゼロエミッション**（コラム p.20 参照）のような、日本発の研究活動が現在行われている。

その他、DfE の普及については、産業環境管理協会等主催、経済産業省後援の**エコプロダクツ展**や**グリーン購入ネットワーク**（コラム「グリーン調達」参照）など進んだ動きも見られる。

(5) DfE をめぐる近年の動向

DfE をめぐる近年の動向として3点挙げておく。1点目は DfE そのものの重要性を増加させる動向である。まず、2004年に行なわれた ISO14001（JISQ14001）の改定がある。本改定の中で、間接的な環境側面への対応の徹底が求められるようになった。改定前は「組織が管理でき、かつ、影響が生じると思われる」と記載されていた部分が、「組織が管理できる環境側面及び影響を及ぼすことができる側面」と改訂された。つまり、直接管理できなくても影響を及ぼすことが出来る環境側面がマネジメントの対象となり、製品のライフサイクルやサプライチェーンの管理が求められるようになったのである。DfE はそのための有効な手段であるため、本改定で DfE の重要性が増したことになるのは言うまでもなかろう。

2点目は DfE の中でもエネルギー使用という環境側面の考慮の重要性を増加させるものである。欧州における EuP 指令（EU Directive on Energy Using Products）制定の動きである。これは、欧州域内の電気·電子機器のエネルギー使用製品の DfE の要求を設定するための枠組み構築に関する指令であり、2005年には欧州議会で採択される見込みである。具体的には、エネルギー投入によって作動する製品、またはエネルギーを発生、輸送する製品、エネルギー使用機器に組み込まれる部品などで、EU 域内で相当量販売され、製品の環境負荷の影響が著しくかつその環境負荷を改善できる可能性があるものが対象となる。規制項目としては、製品のライフサイクルの考慮、製品アセスメントの実施、ステイクホルダとの対話等が挙げられている。これらの項目を実施するには DfE が重要な役割を担う。

3点目は化学物質規制の強化であり、DfE の中でも有害化学物質による影響という特定の環境側面の考慮を一層重要とするものである。欧州 RoHS 指令（EU Directive on Restriction of certain Hazardous Substances in Electrical Equipment）制定の動きがまず挙げられる。対象物質は鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、難燃剤 PBB および PBDE の6物質である。2006年7月施行であり、生産者はそれ以降に上市する電気電子機器製品に対象物質が含まれないことを保証しなければいけない。対象製品は、家庭用大型・小型電化製品、情報通信機器、民生用機器、照明器具、電気·電子工具類、玩具、レジャー·スポーツ機器や自動販売機などと幅広い。中国でも中国版 RoHS 指令とも呼ばれる「電子情報製品生産汚染防止管理弁法」が2005年7月の発効予定で検討されており、EU の RoHS 指令の規制対象6物質に加え、その他の有害物質も規制の対象としている。次に欧州 REACH 規制（EU Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals）制定の動きがある。これは、欧州市場に上市・流通する全て

の化学物質について製造事業者あるいは輸入事業者が有害性および用途（暴露）データの登録を義務付ける。2004 年 10 月に最終提案が公表され、2007 年から 2008 年にかけて成立が見込まれている。

C O L U M N

コラム

ISO/TR 14062

国際標準化機構（ISO）では DfE についての検討をワーキンググループ（WG）で行っており、TR 14062 が発行されている。日本は積極的に本規格にかかわり、枠組みなどに日本の研究成果が随所にとり入れられている。

正式には Environmental management-Integrating environmental aspects into product design and development（環境マネジメントー環境側面を製品開発に組み込むための指針）という規格名称で、技術報告（TR）としての位置づけとなっている。目次の大項目は次のとおりである。

1.適用範囲（Scope)
2.参考文献（References)
3.定義（Definition)
4.目標と潜在的利益（Goals and potential benefits)
5.戦略的考え方（Strategic consideration)
6.マネジメントの考え方(Management consideration)
7.製品の考え方（Product consideration)
8.製品設計と開発プロセス（Product design and development process)
付録 A　参考文献

2.は、関連の ISO 規格などの紹介である。

3.は、DfE の定義ではなく、ここで使われる用語の定義である。例えば、product, design and development, life-cycle, supply chain などである。

全体を通して LCA の配慮、サプライチェーンでの環境負荷削減、そして環境適合製品はラベルを使用して認識するという考え方を示していることが特徴である。

COLUMN
コラム

インバース・マニュファクチャリング

インバース・マニュファクチャリング（Inverse Manufacturing）は、製品を製造販売する動脈系だけではなく、リサイクルやリユースといった静脈系も含めた生産活動、つまり持続可能社会を実現するための循環生産というコンセプトである[1)、2)]。吉川弘之（日本学術会議会長）が10年ほど前に提唱したこの考えは、産官学の共同研究へと発展し、1996年12月には（財）製造科学技術センター内に「インバース・マニュファクチュアリング・フォーラム」が組織された[3)]。フォーラムには大学、国立研究所、自治体、製造業36社が参加している。

インバース・マニュファクチャリング社会では、「製品の販売」から「顧客が求めるサービスの提供」へと製造業の役割も変化する。少ない資源で効率よくサービスを提供し、顧客満足度を高めるためには、製品のライフサイクルを最適化する必要がある。前述のフォーラムではライフサイクルのオプションとして、特に部品のリユースや製品のアップグレードの可能性について研究活動を実施している。これはなるべく付加価値の高いレベルで再利用することが、循環のループを小さなものにし、大きな環境改善効果が得られるためである。

インバース・マニュファクチャリングの例としては、富士写真フイルム（株）のレンズ付フィルムや富士ゼロックス（株）、（株）リコーの複写機がある。回収された製品には、まだ部品として寿命を十分に残しているものがある。回収された製品は部品レベルに分解され、洗浄・修理・検査の工程を経て、リユース部品として再び製品の組み立てラインに投入される。ただし、現在どの製品でも部品リユースが行われているわけではない、これは従来の製品が売り切りの形態で販売され、使用後は廃棄される前提で作られているためである。今後、部品リユースを促進するためには、製品設計において工夫するだけでなく、生産、販売、使用、保守、回収、再生産というライフサイクルプロセスをどう作るのか（ライフサイクル設計）、また使用状況や履歴を把握するためのマネジメント（ライフサイクル管理）も必要とされる。

参考文献
1）梅田　靖編著：インバース・マニュファクチャリングーライフサイクル戦略への挑戦ー工業調査会（1998）
2）吉川弘之十 IM 研究会編著：逆工場ー見えてきた製造業これからの10年ー日刊工業新聞社（1999）
3）http://www.mstc.or.jp/inverse/main.htm

C O L U M N

コラム

ゼロエミッション

ゼロエミッション（Zero Emission）は、ある生産プロセスで商品価値のある製品とならなかった未利用物質を別の生産プロセスの原材料として循環利用すれば、いわゆる「廃棄物ゼロ」が実現できると国連大学が 1995 年に提唱した、生産システムの理念である。基本的な考え方が、迫田らにより、以下のように整理されている[1)]。

①「廃棄物」という概念を払拭し、同じ物でもそれらを「未利用物質」（あるいは「未利用物」「未利用素材」など）ととらえる。現状においては、主として経済的に成り立たないがゆえに廃棄されているものも、物質としてみれば十分に他の生産の原材料になる可能性を有している。廃棄されるべきものは何もなく、たまたま未利用のままになっているという理解である。

②次に、その未利用物質を排出源とは異なる業種において原材料とするという物質のフロー、すなわち産業ネットワークがなくてはならない。この産業ネットワーク自体は自然生態系のような円滑な物質循環を目指して、思いつきでなく合理的な根拠に基づいて設計されなくてはならないだろう。

③そして、このような業種を越えた未利用物質ー原材料という物質循環を可能にするために、「ゼロエミッション技術」とでもいうべき物質変換技術が介在しなくてはならない。この技術はいわゆる最新のテクノロジーを駆使した技術である必要は必ずしもなく、従来からの技術やそれらを改良したものなどでも十分機能する。また、このような技術の必要性は新しい産業を創生することにもつながる。

この概念を具体的なものとするために、文部省科学研究費補助金特定領域研究 292「ゼロエミッションを目指した物質循環プロセスの構築（領域代表：東京大学生産技術研究所・鈴木基之教授）」が平成 9 ～ 12 年度に実施された[2)]。その成果は、Web で公開されている[3)]。

参考文献

1）迫田章義，鈴木基之：ゼロエミッション・サステナブルコミュニティのための物質循環プロセス，生産研究，52 (3)，p.132 ～ 135（2000）
2）迫田章義，羽野忠，吉田弘之，藤江幸一，鈴木基之：ゼロエミッションを目指した物質循環プロセスの構築，用水と排水，42 (4)，p.334 ～ 339（2000）
3）http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/zeroEM/

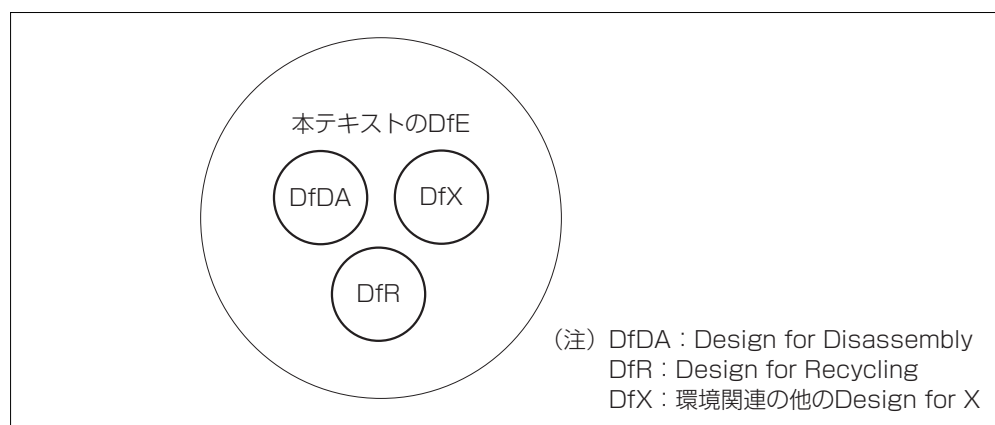
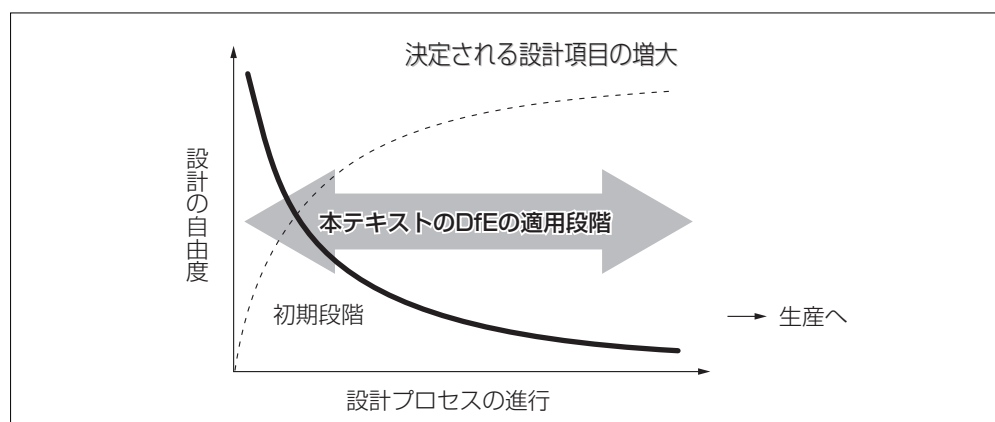
1.1.3 本テキストでの DfE の定義

本テキストではこれ以降、DfE は以下のように定義する。

「系統だった組織の手順として記述される、環境側面を組み込んだ製品設計と製品開発」

ここで組織は企業全体を指す。なお、対象としては組み立て機械製品に限定し、その他の製品及びサービスは除くものとする。

1.1.2 (2) で述べた三つの観点で他の DfE と比較する。本テキストの DfE は、1.1.2 (2) 1) で述べた活動全般としての（広義の）DfE に対して具体的な手順を追加したものであり、特定の DfE の個々の内容を含むもの（**図 1.1-7**）といえる。さらに、1.1.2 (3) で述べた ISO/TR 14062 や ISO Guide64 とも、具体的手順を示している点において決定的に異なる。1.1.2 (2) 2) で述べた設計段階の時間軸上の分類としては、概念設計から詳細設計、設計レビューまでを含む（**図 1.1-8**）。1.1.2 (2) 3) で述べた技術と組織のマネジメントのための手順の色合いも強いといえる。

■ 図 1.1-7　種々の DfE の概念の包含関係

■ 図 1.1-8　適用される設計段階

C O L U M N

コラム

DfR

DfR（Design for Recycling、リサイクル性設計）は製品の EOL（End of Life、寿命終了）時におけるリサイクル性を向上させるための製品設計・開発手法である。一般にリサイクルの手順は、おおよそ次のようになっている。まず、再利用部品、有害物質、及び非常に硬い部品などを除去するための分解を行う。それらを除去した後に、さらなる手作業での分解・分別から破砕、さらには材料種による選別へと進む。材料種という意味での純度（例えば鉄の割合）が十分上がったものを再生用原料としてリサイクルに利用する。したがって、リサイクルのパフォーマンスを上げるためには、構造上の工夫による分解性の向上と破砕・選別による材料回収を効率的にする材料選択が主な方策となる。

したがって DfR は主に、分解性を評価しそれを高める手法と、材料に関するデータベースを利用して材料選択を支援する手法に分けられる。前者においては分解工程のコスト、得られる再利用部品による利益、リサイクルによるコストなどが評価対象となる要因である。分解性評価を実装した商用の計算機ソフトウェアも存在する。

1.1.4 DfE の具体例

本節では、DfE の具体的な事例について述べることによって、DfE に対する理解をより明らかにする。ここでは、ダイヤモンド社発行、山本良一著「エコデザイン」に従って説明する。

これらの事例は、以下の三つの観点についていずれかの側面で明らかな環境適合性を示していると認められるものである。つまり、(1) エコデザインの要素技術、(2) 製品ライフサイクルのステージ、(3) 革新のステージである。おのおのを以下で詳しく説明する。

(1) エコデザインの要素技術

製品の環境性能を高めるために応用され､成果を挙げている技術を指し、ここでは以下の 10 種類に分類している。

a. **省エネルギー**：エネルギー効率を高め、エネルギーを消費することによる地球環境負荷を低減することに成功している。
b. **省資源**：資源の使用量を削減し、地球資源を浪費することを防ぐこ

とによって環境負荷の低減に寄与している。
c. **エコマテリアル**：天然素材をはじめとする環境適合性の高い素材を使用している。
d. **リサイクル**：再生や再利用を行うことによって地球資源の有効活用につながっている。
e. **易分解性**：リサイクルやリユースを前提として容易に分解できる構造を実現している。
f. **生分解性**：廃棄に際して自然に土に戻り、環境に有害な成分を残さない。
g. **クリーン**：製造段階や使用段階において、環境中に有害な物質を放出して環境を汚染することがない。
h. **長寿命**：長く使われる配慮がなされ、使い捨てることによっての環境に与える負荷を抑制している。
i. その他：上記以外で地球環境の保全に役立っている。

（2）製品ライフサイクルのステージ

ライフサイクル全体を通して環境負荷を抑えることがLCA（ライフサイクルアセスメント）の基本であるが、その中でも特筆すべき効果が認められるステージを指す。
a. **素材**：地球資源の採取など製品の原材料となる素材の調達段階
b. **生産**：生産、加工、製造のプロセス
c. **流通**：輸送など、商品の流通段階
d. **使用**：製品やサービスが実際に使われる段階
e. **リユース**：いったん使われた製品を再び使う段階
f. **リサイクル**：使い終わった製品を回収し、再び新しい製品の素材として活用する過程
g. **廃棄**：製品を廃棄する段階

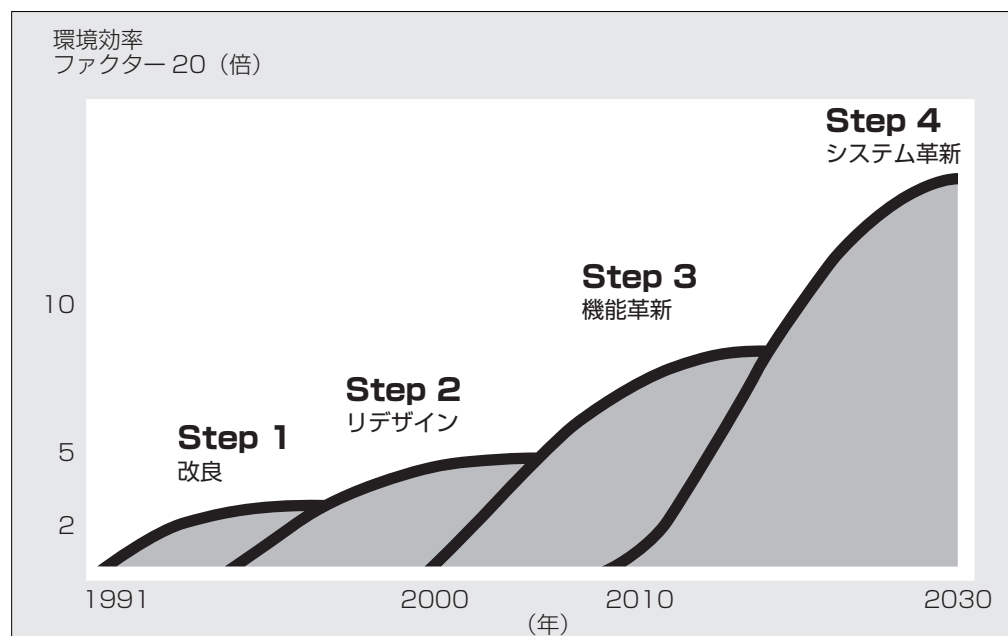
（3）革新のステージ

持続可能な社会を実況するためには、21世紀の半ばまでに環境効率を20倍に高める必要があるともいわれているが、この目標達成のためにオランダ・デルフト工科大学のブレーゼット教授が提唱する下記四つのステージに分類している（**図1.1-9**）。
a. **改良**のステージ：従来の製品の環境性能を高めるための改良の段階
b. **リデザイン**のステージ：製品のコンセプトまでさかのぼり、素材やエネルギー源まで含めた抜本的なリデザインを行う段階
c. **機能革新**のステージ：製品やサービスに求められる機能そのものを

問い直すことによって、いままでとは異なる形で問題解決を図る段階

d. **システム革新**のステージ：社会システムや経済システムまで及ぶグランドデザインの大幅な見直しと、新しい価値観に基づくサステナブルな社会の実現を目指す段階

ダイヤモンド社発行、山本良一著「エコデザイン」に示された一つの事例を次ページに転載する。

■ 図 1.1-9　環境効率を高める 4 段階

出典：山本良一、エコデザイン、ダイヤモンド社（1999）

家電

テレビ

豊富にある金属でリサイクルしやすい「マグネシウム合金テレビ」

松下電器産業（株）

エコデザイン評価

要　素　技　術	ライフサイクルのステージ	革新のステージ
省エネルギー	素材	
省資源	生産	
エコマテリアル	流通	
リサイクル	使用	
易分解性	リユース	
生分解性	リサイクル	
クリーン	廃棄	
長寿命		
その他		

解説

地球上に豊富に存在し、リサイクルしやすく軽量性に優れたマグネシウムをキャビネットの主原料に採用。チクソモールド成形法の確立がマグネシウム合金の大型成形を可能にした。放熱性に優れたオール金属キャビネットは、従来の放熱孔が不要で、ほこりや水分の侵入を防ぐ。特定家庭用機器再商品化法の施行を控えて、高循環型電気製品の可能性を示す先行開発モデル。今後、大型テレビの普及とともにマグネシウム合金はますます効果を発揮することになると思われる。

出典：山本良一、エコデザイン、ダイヤモンド社（1999）

1.2 DfE で何が得られるのか？

1.2.1 DfE で得られるもの

DfE の実施により、具体的に得られる以下の七つの項目について説明する。今後 DfE が業界の標準となった際には、そもそも DfE を実施していない企業がビジネスを行う上で優位に立てなくなる可能性さえ十分あることを忘れてはならない。

①環境への影響が低減された製品

DfE の実施により、製品のライフサイクルを通じた環境への影響が低減された製品が得られるのは DfE の目的より明らかである。製品のライフサイクルを通じた環境への影響を低減するための活動としては、従来の公害防止活動なども含まれるが、製品設計・開発段階で環境側面を考慮する DfE が最も効果的である（図 1. 1-5 参照）。

②顧客への配慮

環境側面で新たにニーズが生じた顧客に対して、①で示した具体的な成果の提供を通じて、顧客に対する配慮を示すことができる。ここで顧客は最終消費者（B to C）、納入先業者（B to B）の両方を含む。

③顧客の持つ企業イメージの向上

社会的に関心の高まっている環境問題に関連した活動を実際に世の中に示すことで、**企業イメージ**も向上することが期待される。

④環境に関連して体系的に蓄積された自社内の情報源と手続き

環境は関係する分野が非常に広く、対処するためには幅広い知識と情報が必要である。DfE を導入することによって、各部門の実務者は環境関連の知識と情報が社内のどこにどのような形で蓄えられているのか、それを得るためにはどういう手続きをとればよいのかを従業員が知ることが期待される。

⑤従業員の環境に対する意識

社内のさまざまな部門の従業員が社会で関心の高まっている**環境問題**

の実際や**環境側面**で自社が対処すべき方法を学ぶことによって、いわゆる環境に対する意識を従業員が高めることが期待される。

⑥従業員の部門間の交流体制

④で述べたように、環境は関係する分野が非常に広いため、DfE を導入することによって、従来の業務では全く交流のなかった部門間の交流が生まれ、自社の新たな力の源にもなる可能性がある。

⑦技術開発力の進展

DfE では、従来考える必要のなかった問題に対して、製品の設計・開発を通じて解を見いだすことになる。このことは環境問題に限らず、求められ続ける**技術開発力**の進展に DfE が資することを意味している。

1.2.2 DfE 導入のメリット

DfE の実施により得られる利点を以下に説明する。

①製品の原価、ランニングコスト、廃棄コストの低減（1.2.1 ⑦参照）

DfE に限らず、環境に対する対策には一般に「お金がかかる」という認識を持たれている場合はしばしばある。しかしながら実際には、DfE を行うことによって経済的コストを低減する場合も多くある。それは環境に対して対策をとるのが、結果的に経済的な対策をとることと一致する場合である。例えば、資源消費を低減することが素材の購入量を少なくしたり、地球温暖化の一因である電力使用の量を低減することが使用段階のランニングコストを下げたり、廃棄物量を少なくすることが廃棄にかかる費用を小さくしたりするといったことが挙げられる。

②環境配慮によるリスク低減（1.2.1 ①参照）

一般に製品はそのユーザーに対してもちろん便益を提供してくれるが､同時にさまざまなリスクももたらすことを認めざるを得ないだろう。その中にはいわゆる**環境リスク**もあるが、DfE を行うことによってそれを低減することができる。例えば製品内に有害な化学物質を使用することによって、その製品の寿命終了時に埋立処理された場合、埋立地からその物質が流れ出る可能性が発生する。設計段階であらかじめ対策を打つことで、このような可能性を排除することができる。

③顧客へのアピールによる**グリーンコンシューマー**（グリーン調達者）の取り込み（1.2.1 ②、③参照）

環境に配慮した製品を販売することで、グリーンコンシューマー（グリーン調達者）を新たな顧客として取り込んでいくことが期待される。さらに、社会の関心の高まりや法的な整備にも支えられ、グリーンコンシューマーは今後増えていく可能性が十分ある。

④環境に関連した必要な（例えば法規制上）情報収集の効率化（1.2.1 ④、⑥参照）

1.2.1 ④では DfE を導入することによって、環境に関連した自社内の情報源が体系的に整備されることが期待されることを述べた。これは、DfE のみならず他のプロセスにもよい効果をもたらす。環境に関連した社内の情報収集はそのうちの一つである。例えば法規制上その種のことが求められる場面があるだろうが、その手続きを効率化することが期待される。

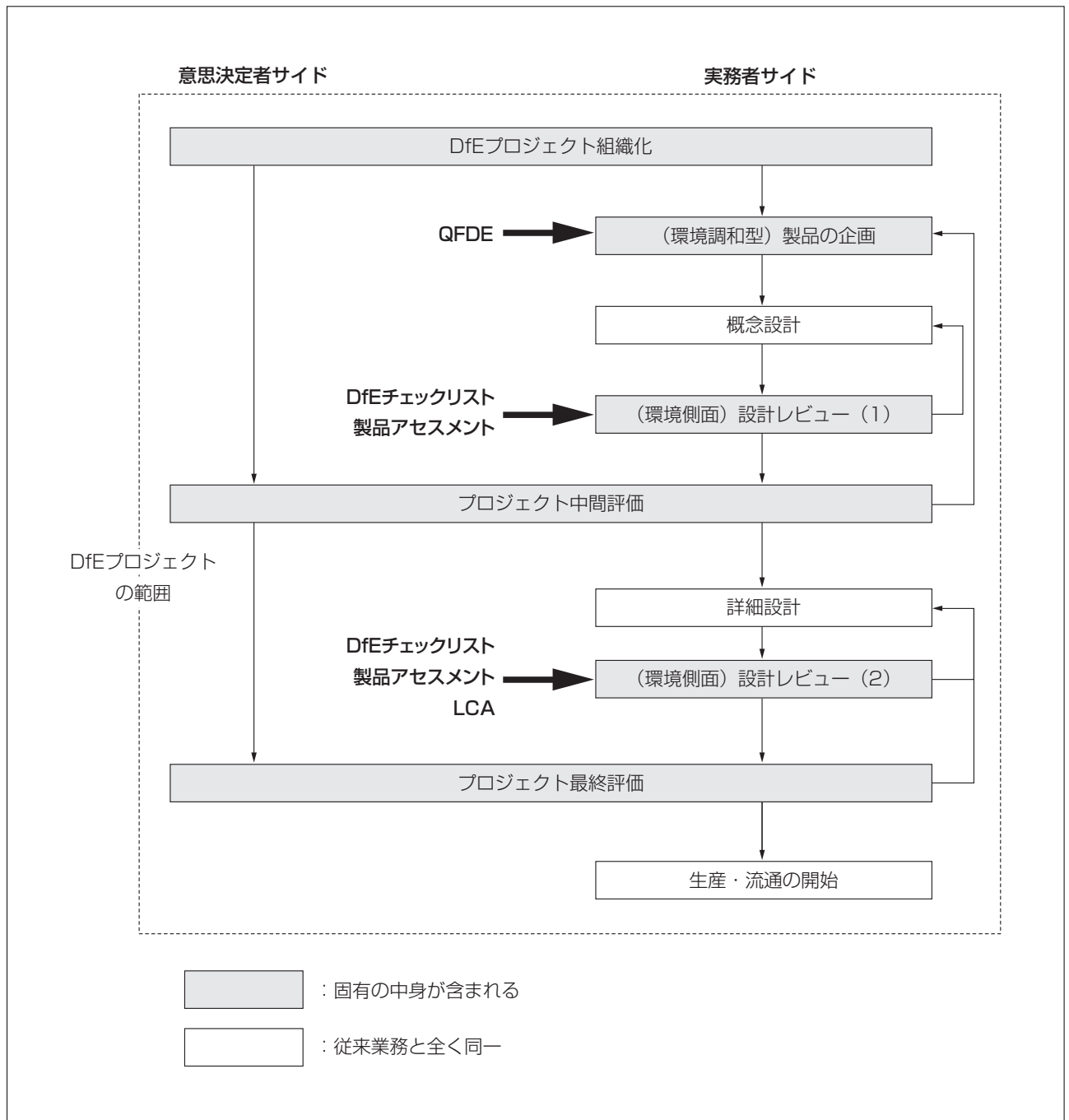
⑤今後強化される可能性のある法規制等による損失の低減（1.2.1 ①、⑤参照）

昨今の社会をみると、今後環境に関連した法規制が強化されることは十分考えられる。そのような法規制が施行されてから対策を打ったのでは、時間的な制約などから損失を被ってしまうこともあり得るだろう。現時点で DfE を行い、そのような法規制の動きに備えておくことによって、将来の損失の可能性を低減することができる。なお、①から④で述べたものはすべて現時点で得られる利点であるが、本項のみは将来における利点として挙げている。

1.2.3 本テキストで実施する DfE の全体像

(1) DfE プロジェクト全体のフロー

本テキストを使って実施する DfE の全体のフローと、そのうちの各段階において使用するツールを**図 1.2-1** に示す。DfE 固有の作業が含まれるステップを網かけ部分で、そうでないもの（従来業務と全く同一のステップ）を白枠で示している。網かけ部分のステップは「**DfE プロジェクトチーム**」（Chapter 2 、3 に詳しく説明する）が実施し、白枠のステップは従来業務において担当している人がそのまま担当する。図 1.2-1 内の各ステップで実施する事項は (2) と (3) で述べる。ただし、DfE 固有の中身

■ 図1.2-1　本テキストでのDfEの流れの一例と使用ツール

が含まれるものに限り、従来業務と全く同一のものについては説明を省いている。

なお、**設計レビュー**については、概念設計の後に行うものを「設計レビュー(1)」、詳細設計の後に行うものを「設計レビュー(2)」、と名づけているが、図1.2-1に示されているように、これらは満足するまで繰り返し行うものであり、必ずしも2回で終えるとは限らない。

本テキストのDfEの手法には、できるだけ現在企業で実際に行われている活動の流れに自然となじむようにという狙いがある。つまり、従来行われてきた製品設計開発の流れにあまり大きな変化をもたらさないようにとの考慮をしている。一言でいうと、従来の製品設計開発と全く同じ手順を踏んで行うようになっている。製品の分野などによって多少の差はあるだろうが、製品の開発の流れはこのようになっているだろう。本テキストのDfEは従来の設計業務に環境側面をとり入れたにすぎず、比較的スムーズに導入することが期待される。

(2) 意思決定者サイドの作業

図1.2-1に示されたDfEの流れの中で、意思決定者サイドが役割を負う部分を含むステップの内容を以下に記す。

・**DfEプロジェクト組織化**

意思決定者サイドも参加した上で、以下のことを行う。このステップは実務者サイドも参加する。

①目的の明確化

DfEを実施するに至った要因を踏まえ、自社が掲げている環境に対する理念、方針に則った上で本DfEプロジェクトの目的を明確化する。

②製品の特定

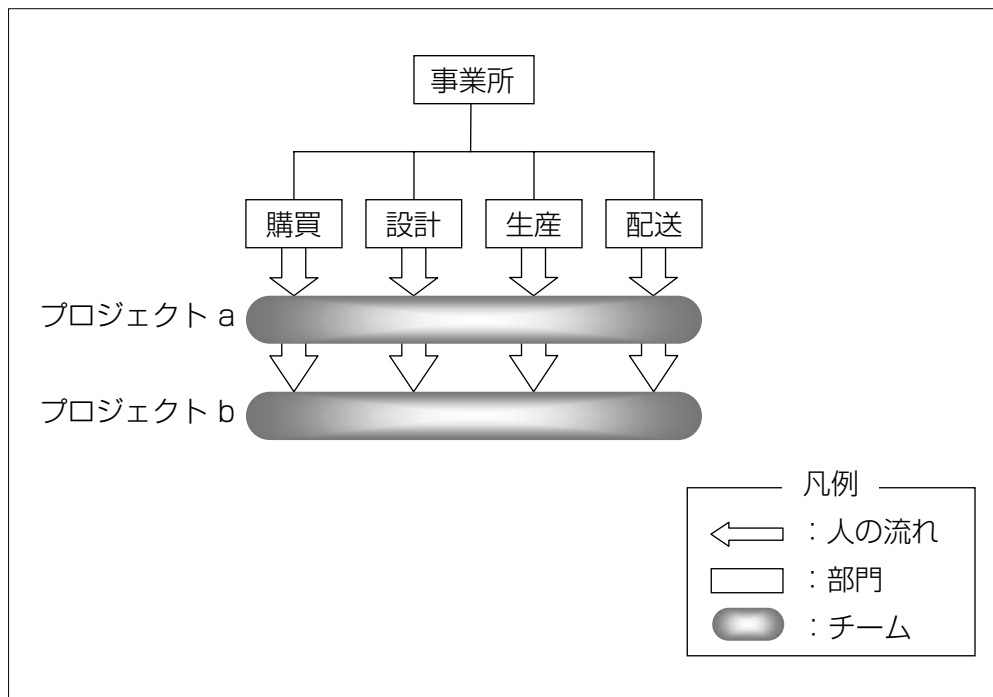
本DfEプロジェクトで対象とする製品を選定する。

③チームの構成の決定

本DfEプロジェクトを実施する実務者サイドのメンバーを選定する。本プロジェクトは複数の人間で構成するグループで実施する。その理由は以下にまとめられる。

- 環境側面の問題は、設計や購買などに関する幅広い知識と情報が必要である。
- 社内において製品をつくるために必要な様々な活動の責任は複数の部署に分散されているのが通常であるので、製品を実際につくる段階になった場合に責任を持つだろうメンバーが当初から参加しておくことが必要である。

なお、本テキストで説明する環境調和型製品開発は、製品ごとのプロジェクトベースで行うことを想定している。製品開発ごとに部門をまたがったプロジェクトチームを結成する（図1.2-2参照）。つまり、ある製品開発を行う際の各部門の主担当者でプロジェクトチームを構成する。この形態を取るのは、製品の環境調和性を考慮するのは特定

■ 図 1.2-2　プロジェクトの参加者

の部門の役割に限定されるべきではなく、製品開発においては必須の検討項目であると考えるからである。また、環境に関する知識や技術を全社員に広めるためにも、このプロジェクトベースの方法は有効と考える。

ただし、この方法が唯一のものではないので、各社の他の要因を考慮して、別の方法を採用しても構わない。

④予算の想定

本 DfE プロジェクトで投入する予算を想定する。

・プロジェクト中間評価

実務者サイドがこの時点までの自身の活動をまとめて意思決定者サイドに報告し、意思決定者サイドが詳細設計に進むか否かを判断する。

・プロジェクト最終評価

実務者サイドが本プロジェクトでの自身の活動をまとめて意思決定者サイドに報告し、意思決定者サイドが生産に進むか否かを判断する。

(3) 実務者サイドの作業

図 1.2-1 に示された DfE の流れの中で、実務者サイドのタスクの内容を以下に記す。

白色のステップは従来業務において担当している人がそのまま担当し、緑色のステップつまりDfE固有の中身が含まれるものは、「DfEプロジェクトチーム」が作業を進める。

・DfEプロジェクト組織化

（2）を参照。

・（環境調和型）製品企画

本DfEプロジェクトにおいて、環境側面について対象製品の何をどのように改善するのかを決定する。本ステップでは「QFDE」というツールを利用する。対象製品における環境側面で重要なコンポーネント（エンジニアリングボトルネックとも言える）を見つける。これは、言い換えれば設計や改善の方向性（指針）を提示するということである。実務者サイドの作業の効率化を即すために、（環境調和型）製品企画においては、実行する計算式などを実装したソフトウェア（Microsoft社のExcelをベースにしたもの）を本テキストでは提供している。

・（環境側面）設計レビュー（1）

概念設計の結果が、環境側面で考慮すべき項目に対して定性的、半定量的にどの程度満たしているかの確認、並びに従来の概念設計後に行う設計レビュー（仕様と概念設計結果の比較に基づき詳細設計に進む判断を下すためのもの）を行う。本ステップでは「DfEチェックリスト」、「製品アセスメント」というツールを利用する。

・プロジェクト中間評価

（2）を参照。

・（環境側面）設計レビュー（2）

詳細設計の結果が、環境側面で考慮すべき項目に対する定量的な影響の評価、並びに従来の詳細設計後に行う設計レビュー（仕様と詳細設計結果の比較に基づき生産に進む判断を下すためのもの）を行う。環境側面については「DfEチェックリスト」、「製品アセスメント」、「LCA」を実施する。本テキストでは、より詳細な評価が行えるLCA（Life Cycle Assessment）を使用するのが適切と考えている。LCAについてはChapter 3に、詳細な手順については他の文献に詳しく説明されているのでそちらを参照する。

・プロジェクト最終評価

（2）を参照。

・生産・流通の開始

上記までの手順で、本 DfE の主要な活動部分を終了する。しかし、製品の詳細設計及び生産を実際に行って初めて DfE を成し遂げたと言える。製品設計を通じて環境問題の解決に向けて貢献出来るのは、あくまで製品を社会に実際に送り出してからである。本ステップでは実際の生産と物流において考慮すべきことを検討する。具体的には以下を実施する。

①生産プロセスの修正

環境調和型製品企画で選択され、詳細設計された設計案の生産段階における技術的なフィージビリティーを検討し、それを実現するために必要な生産段階での変更内容を決定する。

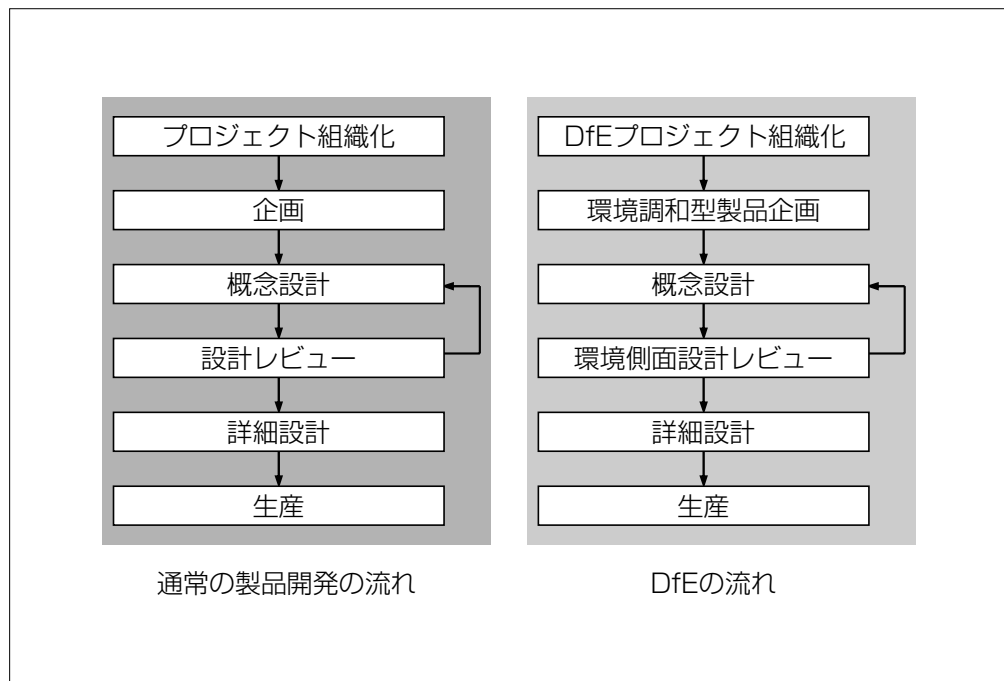
②市場反応を考慮

本 DfE プロジェクトの環境側面のアピールポイントなどを明確にした上で市場性を考慮し、必要な対策を実行する。

（4）従来の製品開発との親和性

各手順の内、「概念設計」、「詳細設計」と書かれた手順は従来の製品開発と全く同様の内容である。これら 2 つを除く各手順を本編のこれ以降の章で詳しく説明する。

従来の製品設計開発との親和性を示すために、図 1.2-3 で従来の製品設計開発と DfE の流れを比較している。つまり、図 1.2-3 の左側に従来の製品設計開発の流れを示している。製品の分野等によって多少の差はあるだろうが、製品の開発の流れはこのようになっているだろう。一方、本テキストを利用して行う DfE の流れを図 1.2-3 の右側に示している。左右を比べるとお分かりのように、全体の流れの構成は同じで、各手順が従来のものと比べて環境側面を考慮したものになっている。本テキストの DfE は従来の業務に環境側面を取り入れたものであり、比較的スムーズに導入することが期待される。

■ 図 1.2-3　製品開発の流れの比較

(5) 本 DfE のスコープ

本テキストで示す DfE は、以上に述べた通り製品開発全体の中で一部分のプロセスに対して支援ツール（QFDE、製品アセスメント、チェックリスト、LCA）を適用したものであり、主にそれらのプロセスに対して解説を行なったものである。つまり「はじめに～本テキストの使い方等」の「(2) スコープ」でも述べたように、製品開発全体に対して解説を行なったものではない。

●参考文献

1）UNEP ： ECODESIGN, a promising approach to sustainable production and consumption, United Nations Publication（1997）
2）Pahl, G. and Beitz, W., 設計工学研究グループ訳：工学設計─体系的アプローチ─, 培風館（1995）

Chapter 2 DfE チェックリスト・製品アセスメントによるレビュー

2.1 DfE チェックリストとは何か？

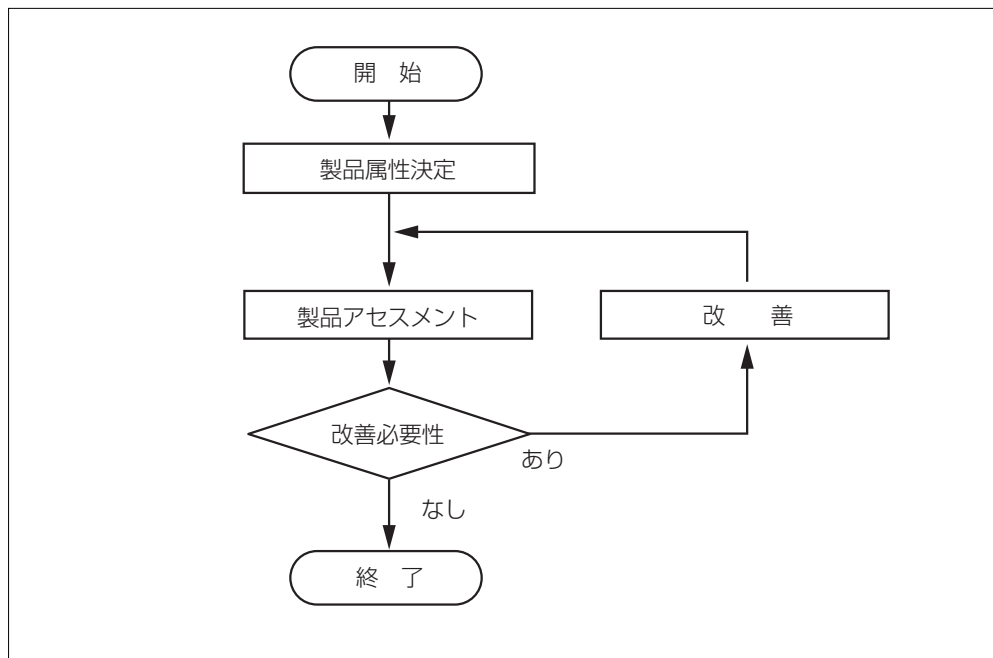
「**DfE チェックリスト**」とは、製品のライフサイクルステージに沿って環境側面を考慮した場合にチェックすべき項目を列挙したものであり、製品アセスメントを簡略化した性質も有する。各項目の観点で設計案をレビューするために使う。この DfE チェックリストについても、本テキストではデフォルトリストを付録に掲載しているので、それをそのまま採用することも可能である。表 2. 1-1 に示すように DfE チェックリスト項目を縦軸、設計対象製品のレベルを横軸にとれば、継続的な改善に一役買うことが出来るかもしれない（表 2. 1-1 では本テキストのデフォルトリストを採用している）。

■ 表 2.1-1　DfE チェックリストの例

チェックリスト項目 ＼ 段階	既に実施中	今期中に実施予定（未実施）	検討しているが時間がかかる（未実施）	実施困難（未実施）	備考（コメントなど）
1.　低環境影響素材の選択					
1.1　有毒性・有害性のない素材					
1.2　非枯渇性資源の利用					
1.3　再生された素材の利用					
1.4　再生容易な原料					
1.5　低いエネルギー含有素材					
1.6　加工容易性の高い素材					
2.　素材使用の低減					
2.1　重量の低減.					
2.2　(運搬時)体積の低減.					
2.3　材料の種類数の低減					
3.　生産技術の最適化					
3.1　環境影響の低い生産技術					
3.2　より少ない生産手順					
3.3　より少ない/環境影響の低いエネルギー消費					
3.4　より少ない/環境影響の少ない生産消耗品					
3.5　より少ない生産廃棄物					
4.　配送システムの最適化					
4.1　より少ない/環境影響の少ない/燃焼可能素材による包装					
4.2　再利用可能/再生利用可能な包装					
4.3　環境影響の低い運搬手段					
4.4　エネルギー効率のよい運搬ルートの設定					
5.　使用時の環境影響の低減					
5.1　より少ない/環境影響の低いエネルギー消費					
5.2　より少ない/環境影響の低い消耗品					
5.3　環境への排出物の低減					
5.4　エネルギー、消耗品の浪費の低減					
6.　寿命の最適化					
6.1　高い信頼性と耐久性					
6.2　容易な保全と修復					
6.3　モジュラーな製品構造					
6.4　製品とユーザーの強い関係					
7.　寿命終了時のシステムの最適化					
7.1　製品の再利用					
7.2　部品の再利用					
7.3　素材の再生					
7.4　環境影響の低い回収手段					
7.5　エネルギー効率のよい回収ルートの設定					
7.6　製品の分解性					
7.7　素材の破砕性					
7.8　安全な焼却（エネルギー回復）					
7.9　製品の残余の埋め立てにおける安全性					
7.10　素材の組成や廃棄方法の表示					

2.2 製品アセスメントとは何か？

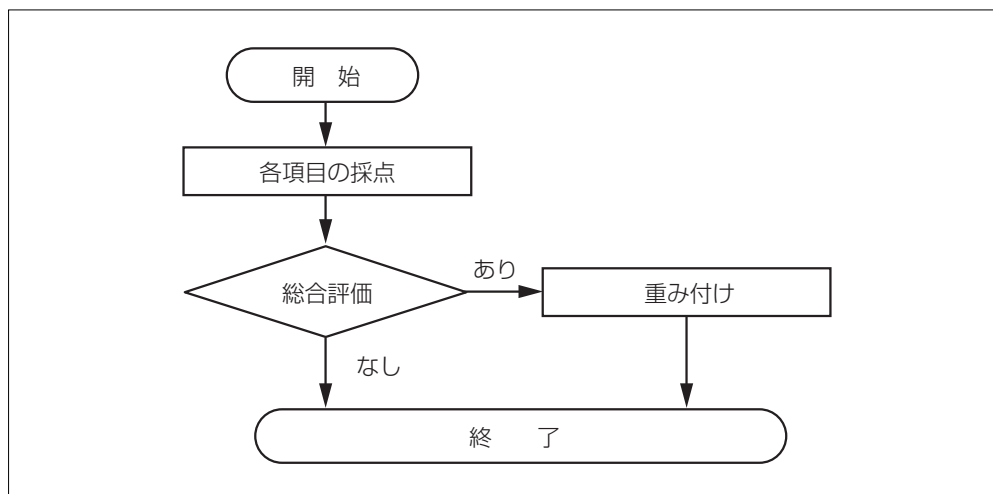
製品アセスメントとは、対象製品による環境影響を低減することを最終的な目的として、製品の一生で起こり得る環境への影響を想定し、その影響を改善するために必要な対策がとられているか否かを評価する作業である。一般には環境側面以外の項目に対して評価する場合も含まれるが、本テキストの「製品アセスメント」は環境側面に限定するものとする。製品企画、詳細設計等の製品開発の段階で実施され、基準を満たしていない場合、設計のやり直しなどの処置がとられる。設計が終了に近づいた段階で生産の前に行われ、デザインレビューの中で必ず実施することを定めている企業も多い。1990 年代に始まった製品アセスメントの取り組みは、品質、機能、価格のみを考えて設計開発してきた担当者に、「**環境配慮**」の意識を植えつけるという点で大きな貢献を果たしたといわれている [1)]。

■ 図 2.2-1　設計フローの中での製品アセスメントの位置づけ

製品アセスメントの結果として得られるのは、所定の項目に対する評価結果であり、通常設計に対する改善の必要性の有無が示される。つまり、製品アセスメントを行った結果､環境側面からみた製品のでき具合を知り、次の段階に進んでよいか否かの判断が行われる。各メーカーが重要と考える項目をあらかじめ製品アセスメントの評価項目に登録しておけば、製品アセスメントを導入することによって、製品の環境側面の検査をシステム化することができる。

ただし、製品アセスメントは、改善のための具体的なサポートについては力を発揮しない。つまり、製品アセスメントの結果、改善の必要性が示されても、具体的にどう改善すればよいのかは、多くの場合設計者の知識と能力に委ねられる。したがって、製品の改善の過程を含めて作業の流れを記せば**図 2.2-1** のようになる。この図は図 1.2-1 を製品アセスメントに注目して書き換えたものに相当する。

2.3 製品アセスメントの方法

一般的な製品アセスメントの作業の流れの全体を**図 2.3-1** に示す。あらかじめ定められた項目と尺度で対象製品の設計（中間）解を評価し、各評価項目において結果が採点され、場合によっては全項目の評価結果を重み付けによって統合化することもある。評価に用いられる具体的な項目は、有害な物質の排除、製品使用時における資源・エネルギーの低減、使用済製品のリサイクルや廃棄処理容易性などの観点から設定されることが多い。また、尺度は定量的なものも定性的なものもある。

■ 図 2.3-1　製品アセスメントの流れ

2.4 製品アセスメント手順の具体的方法例

日本では、既に（社）日本電子機械工業会や（財）家電製品協会などが製品アセスメントのマニュアルを作成しており、それらがよく知られている。ここでは（社）日本電子機械工業会の作成した電子部品用のマニュアル[2]と（財）家電製品協会の作成した家電製品用のマニュアル[3]を具体例として挙げて説明する。

2.4.1 日本電子機械工業会のマニュアル

本マニュアルは、（社）日本電子機械工業会（現在の（社）電子情報技術産業協会、以下、「JEITA」という）が、1998年に「**電子部品における環境配慮のためのマニュアル**」というタイトルで作成したものである。以下に本マニュアルの一部を転載し、詳しく内容を説明する。

（1）マニュアルの作成目的

電子部品の部材開発、部材調達、製造、輸送、使用、廃棄について、自社内だけでなく、上流のメーカー（部材メーカー、機械・設備メーカー）や下流のメーカー（機器メーカー）と関連する一連の流れの中で、自主的に環境に配慮した事業活動を行うことや、環境に配慮した製品を供給する際に参考にするために作成されている。

（2）対象

電子部品を対象としている。具体的には**図 2.4-1** に含まれるものが対象であるが、これらに限定されるものではない。

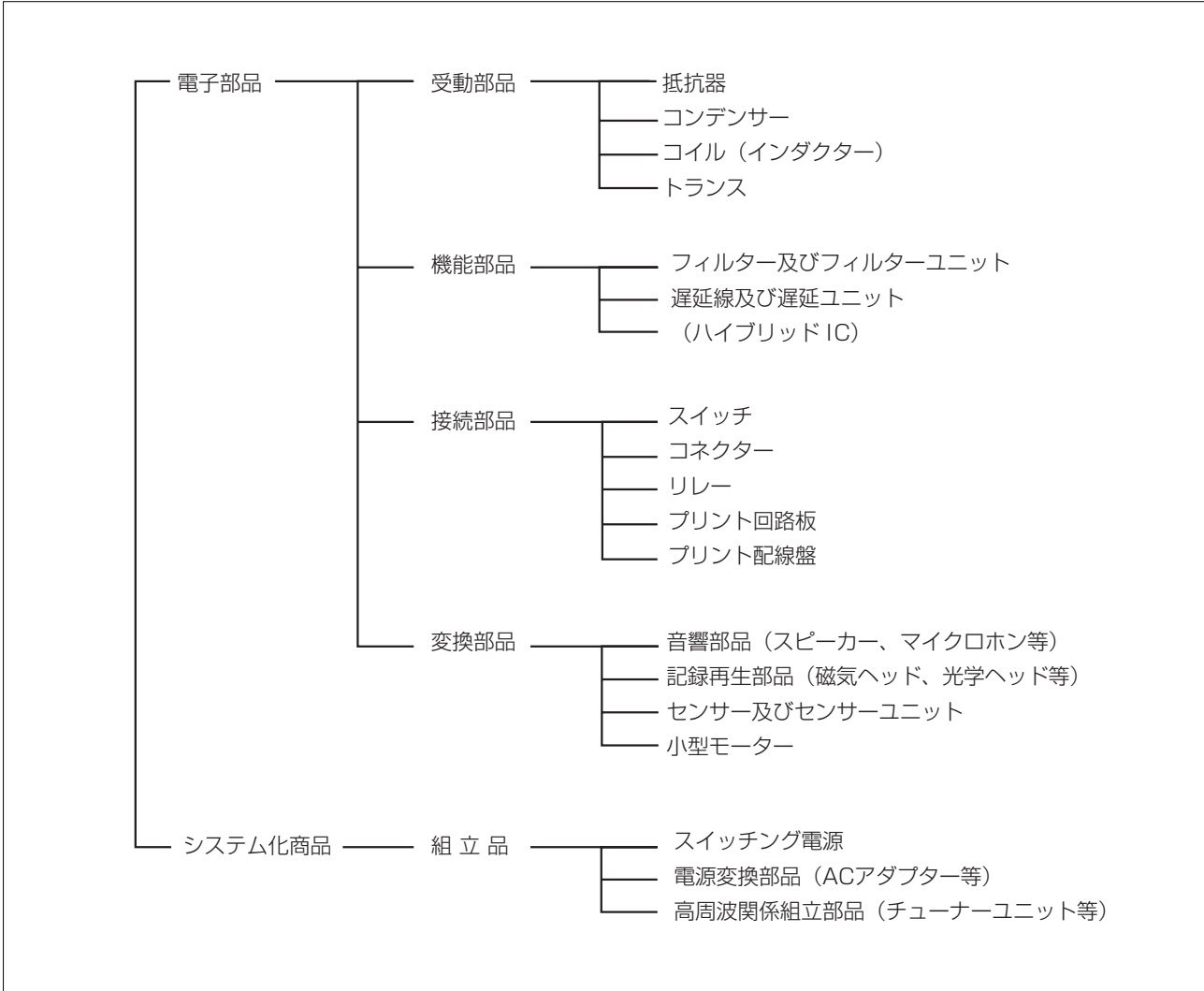
（3）基本的枠組み

下記事項を明らかにした実施規定を策定するものとする。

a. 事業所・工場ごと又は本社に、電子部品の環境設計評価を実施する責任者を置き、確実な実施とその記録の保管を行うための体制を整える。

b. 規定にはその目的、対象とする電子部品の種類、用語の定義及び（4）以下に示す実施手順、個別項目評価又は総合点数評価、総合判定及び記録の作成と確認の各項目を盛り込む。

c. 環境設計評価の実施状況、時代の変遷や技術の進歩等により、当該規定を見直す。

■ 図 2.4-1　対象とする電子部品等の一覧

出典：(社)日本電子機械工業会、電子部品における環境配慮のためのマニュアル（1998）

（4）実施手順

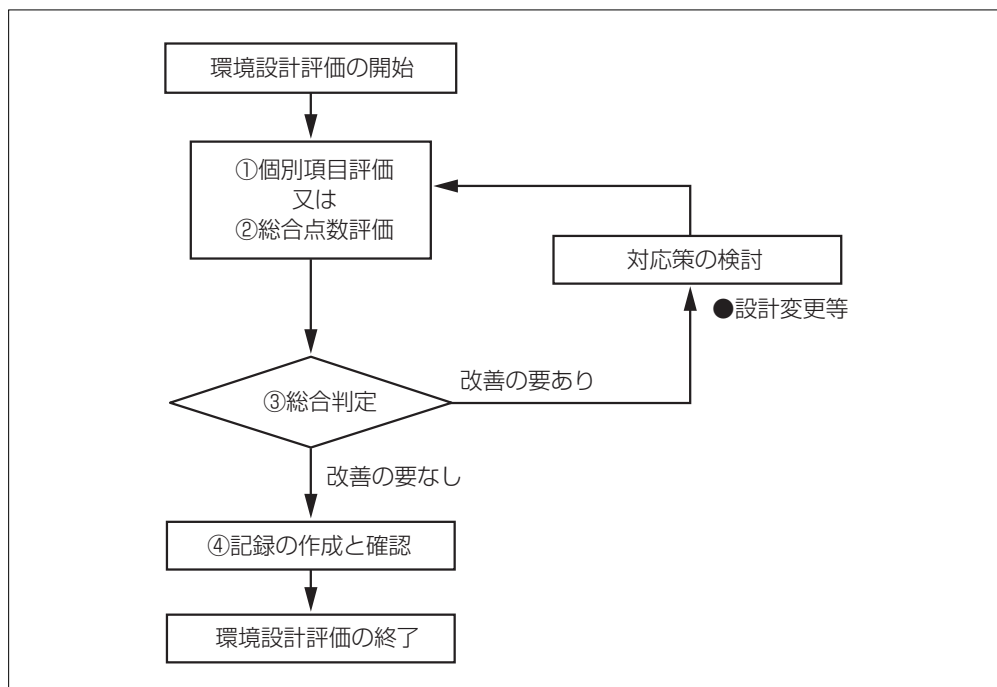
実施手順は、それぞれの対象電子部品の特性に応じて適切な方法があるが、推奨する手順の例として**図 2.4-2** に示すものを挙げている。

図 2. 4-2 の各項目の内容は、下記のとおりである。

①個別項目評価

(5) に示す内容を参考として、対象とする電子部品ごとに定めた評価基準に従って評価(注1)を行う。評価の際、一つの案のみによって客観的かつ絶対的な評価を行うことは一般に困難であることから、基準品や代替案との比較検討を行うことも有効である。

（注 1）個別項目評価における“評価”とは、各項目ごとに、状態、程度等の事実関係を調査・実験・分析等によって把握し、各項目の要求事項への適合性を評価するものです。設計変更などの対応策の検討が必要かどうかについては、総合判定において判断されます。

■ 図 2.4-2　推奨されている実施手順

出典：(社)日本電子機械工業会、電子部品における環境配慮のためのマニュアル（1998）

②総合点数評価

総合点数評価は①の個別項目評価に定量性を加味したもので、①を実施し１～２年以上の経験を積んだ上で必要な場合に行うことが望ましい。(6) に示す内容を参考として、評価基準ごとに点数を付与し、総合評価点を算出・集約し、評価を行う。ここで、目標値に未達の項目があれば注釈し、納得のいく理由があれば妥当な評価とする。

③総合判定

①又は②の評価結果及び当該電子部品の機能や経済性等の要素を総合的に勘案し (7) に示す内容を参考にして、設計変更等の対応策の検討が必要かどうかの判定を行う。設計の変更等、対応策が決定した場合は、再度個別項目評価又は総合点数評価の過程を経るものとし、対応策の検討が必要ないと判定されるまで繰り返す。

④記録の作成と確認

個別項目評価又は総合点数評価の結果及び総合判定の結果並びに対応策を記録にとりまとめ事前評価記録とする。記録は責任者が確認する。

(5) 個別項目評価

電子部品の環境設計評価の実施に当たっては、表 2.4-1 を参考に製品・製品群[注1]ごとに適切な評価項目を選択し、また必要に応じて新たな評価項目を追加し、具体的な評価基準、判定基準を作成するものとする。

(注1) ここでいう“製品”及び“製品群”とは“電子部品等”及び“電子部品等の群”を指します。

①評価項目（大分類）設定の目的

製品から環境設計を体系的にみれば 12 項目の大分類とそれらを構成する 38 の評価項目で成り立っている。

a. **減量化**：製品の小型化、軽量化や中間処理などを行って、最終的に処分される量（廃棄量）を減少させることを目的とする。
b. **長寿命化**：長寿命化により、最終的に処分される量（廃棄量）を減少させることを目的とする。
c. **再資源化**：金属や樹脂材料などのリサイクルを行い、最終的に処分される量（廃棄量）を減少させることを目的とする。
d. **製品の破砕処理**：破砕処理に対応できることを目的とする。
e. **製品の分解性**：再資源化の推進、破砕処理への対応、汚染の未然防止のための有害物質の取り外しの容易化を目的とする。
f. **回収、運搬**：処理業者による回収、運搬の容易化を目的とする。
g. **製品の安全性**：生態系や環境への悪影響が大きい物質の使用を禁止及び削減することを目的とする。廃棄され焼却処分された場合に有害物質や有害ガスを発生させる可能性のある塩化ビニル等も削減の対象とする。
h. **製品の包装**：製品の出荷に伴う包装材の廃棄量削減を目的とする。
i. **省エネルギー、省消耗材**：エネルギーの使用量やその他消耗材の消費量の削減を目的とする。
j. **情報の開示**：適正な廃棄処分や再資源化を促進するため、必要とする情報の提供を目的とする。
k. **生産工程**：生態系や環境への悪影響が大きい物質の使用及び産業廃棄物の削減と適正処理及びリサイクルの促進を目的とする。
l. **流通**：流通形態の改善及び効率化による環境負荷の低減を目的とする。

②評価項目の適用

すべての製品を同じ評価項目、優先度で評価できないため、製品ごと又は製品群ごとに決める。

③優先度の設定

環境への影響を確実に評価し、より適切な対策を行うため、評価基準ごとに優先度（A、B、C）を設定する。

A：最重要項目として必ず評価し、問題があれば対策を行うこと

B：重要項目として製品ごとに選択して行い、問題があれば対策を行うこと

C：製品別の選択項目（独自に追加した項目については、当事業所に応じた優先度をつけ、明確にすること）

④評価基準の設定

自社の現行製品、ない場合は相当品の中から標準になる基準製品を選定し、各評価項目について**表 2.4-1** を参考にして評価基準を決める。表 2.4-1 に示す“使用禁止物質と使用制限物質”については、各事業所の実状に応じて使用禁止物質、使用制限物質を選定し、運用するものとする。

⑤判定基準の設定

評価の良否を判定するための基準で、評価基準の各項目について「環境設計評価ガイド」を参考にして判定基準を決める。

（6） 総合点数評価

(5) の個別項目評価をさらに進め、各項目に評価点を設定し、総合評価する方法の事例を**表 2.4-2** に示す。ただし、当項でいう“製品”とは“電子部品等”を指す。

1）評価の基本

a. 評価の対象：評価の対象は個別項目評価と同じで、新製品の開発に当たって、製品本体だけでなく、製品の包装、生産工程及び流通での環境に影響を与える項目を対象に評価する。

b. 基準製品の選定：自社の現行製品の中から標準になる基準製品を選定する。

c. 評価項目の設定：評価項目は (5) の個別項目評価の項目の中から当該製品に適用可能な項目を抽出するのが必要なら、新たに項目を設定してもよい。

d. 適用（評価基準の策定）：上記の評価項目に対し、製品ごとに適用可能な評価基準を策定する。

e. 評価方法の策定：上記の評価基準に対し、評価方法を算式等で設定する。算式化できないものは有無等とする。

表 2.4-1　JEITA のガイド（1）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
(1)減量化	1.製品の小型化、軽量化	B	(a) 新製品は現行（相当）品より小型化しているか 小型化率＝新製品容積／現行（相当）品容積	(a) 小型化率は1以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合はその理由を明記すること
		A	(b) 新製品は現行（相当）品より軽量化しているか 軽量化率＝新製品重量／現行（相当）品重量	(b) 軽量化率は1以下とする （(a)(b)共通）◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合はその理由を明記すること
	2.部品の小型化、軽量化	C C B B	(a) 小型化した部品点数 (b) 軽量化した部品点数 (c) 大型化した部品点数 (d) 増量化した部品点数	◎大型化又は増量化した部品については、その部品名と理由を明記すること
	3.省資源化	A	(a) 新製品は現行（相当）品より主な原材料別の使用量を削減しているか ①樹脂材料削減率＝新製品の樹脂材料の使用量／現行（相当）品の樹脂材料の使用量 ②金属材料削減率＝新製品の金属材料の使用量／現行（相当）品の金属材料の使用量 ③その他の主原材料削減率＝新製品の当該材料の使用量／現行（相当）品の当該材料の使用量	◎削減率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		B	(b) 新製品は現行（相当）品より使用する部品点数を削減しているか 削減率＝新製品の使用部品総数／現行（相当）品の使用部品総数	（(a)(b)共通）◎削減率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		B	(c) 希少金属（又はその化合物）の使用量は削減しているか 削減率＝新製品の希少金属（又はその化合物）の使用量×当該希少金属のクラーク数の逆数／従来（同等）品の希少金属（又はその化合物）の使用量×当該希少金属のクラーク数の逆数	(c) 削減率は 1 以下とする
	4.標準化	A	(a) 新製品は現行（相当）品より部品の標準化をしているか 比率＝新製品の部品標準化率／現行（相当）品の部品標準化率 （部品標準化率＝標準化した部品数／部品総数）	(a) 比率は 1 以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
(2)長寿命化	1.長寿命化	A	(a) 新製品は現行（相当）品より長寿命化しているか 比率＝新製品の寿命／現行（相当）品の寿命	(a) 比率は 1 以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること

表 2.4-1　JEITA のガイド（2）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
(3) 再資源化	1.再資源化の可能性	A	(a) 新製品は現行（相当）品より再資源化可能な材料・部品を使用しているか 比率＝新製品の再資源化率 ／現行（相当）品の再資源化率 （再資源化率＝再資源化可能材料の重量／総重量）	(a) 比率は 1 以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
	2.材料統一	A	(a) 新製品は現行（相当）品より使用材料品種数・使用部品品種数を削減しているか ①樹脂材料削減率＝新製品の樹脂材料の品種数 ／現行（相当）品の樹脂材料の品種数 ②金属材料削減率＝新製品の金属材料の品種数 ／現行（相当）品の金属材料の品種数 ③その他の主原材料削減率＝新製品の当該材料の品種数 ／現行（相当）品の当該材料の品種数	(a) 削減率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		A	(b) 新製品は現行（相当）品より再資源化可能な使用材料品種数・使用部品品種数を増やしているか ①樹脂材料増加率＝ 新製品の樹脂材料の再資源化可能品種数 ／現行（相当）品の樹脂材料の再資源化可能品種数 ②金属材料増加率＝ 新製品の金属材料の再資源化可能品種数 ／現行（相当）品の金属材料の再資源化可能品種数 ③その他の主原材料増加率＝ 新製品の当該材料の再資源化可能品種数 ／現行（相当）品の当該材料の再資源化可能品種数	(b) 増加率は 1 以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
	3.再生材料の利用	A	(a) 新製品は現行（相当）品より再生材料を使用しているか 比率＝新製品の再生材料の使用率 ／現行（相当）品の再生材料の使用率 （利用率＝再生材料の使用量／製品総重量）	(a) 比率は 1 以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
	4.再資源化の促進	B	(a) 新製品は現行（相当）品より複合材料を使用した部品点数を削減しているか 複合材料削減率＝新製品の複合材料使用部品数 ／現行（相当）品の複合材料使用部品数	◎削減率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		A	(b) 新製品は現行（相当）品より複合材料を使用した部品重量を削減しているか 複合材料削減率＝新製品の複合材料使用部品重量 ／現行（相当）品の複合材料使用部品重量	

表 2.4-1　JEITA のガイド（3）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
⑷製品の破砕処理	1.細片化及び破砕	B B	(a) 新製品は破砕機（シュレッダー）などにより細片化が容易か（材料、構造、強度について現行（相当）品と相対比較） (b) 構成部品は破砕機（シュレッダー）などにより破砕が容易か	(a) 現行（相当）品と同等以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること (b) 破砕不可能な部品がある場合、その部品名を明記すること
	2.分解・分離性	B	(a) 破砕機で処理できない部品の取り外しは容易か（標準的工具での取り外しが容易にできるか）	(a) 上記評価により破砕不可能な部品がある場合、その部品の取り外し可否、難易度を明記する
⑸製品の分解性	1.分解性	A	(a) 再資源化、粉砕処理の容易化、有害物質の取り外し容易化のため、以下に規定する部品・部材の取り外しが容易か ・破砕困難物（大型のフェライトコア等） ・再資源化可能物（金属、熱可塑性樹脂等） ・有害物質含有物（使用禁止物質又は使用制限物質を 1％を超えて含有する物） ・その他（標準的工具による上記部品の取り外しの容易さと分解手順書の内容で評価する）	(a) 現行（相当）品と同等以上とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
	2.部品の材料分別	C	(a) 複合材料部品の材料別分解・分離は容易か	(a) 分解・分解困難な部品名及び複合された材料名とその理由を明記
	3.材料の分別性	B	(a) 再資源化可能な材料は、種類別に分離可能か	(a) 分解・分解困難な部品名及び材料名とその理由を明記
	4.材料名表示	A A A	(a) 合成樹脂材料に ISO 材料記号を表示しているか (b) 表示文字の大きさは適切か（最低 12 ポイント以上） (c) 表示の場所は適切か（分別の際に見やすいこと）	◎左記の基準で、分かりやすく明記されていること ◎ただし、機能、性能、安全性、外観上、その他により、表示できない場合その部品名と理由を明記すること
⑹回収・運搬	1.廃棄時の回収、運搬	B	(a) 製品の回収・運搬が容易なように左右の重量バランスを確保しているか (b) 製品の把手・車輪の設置は適切か	

表 2.4-1　JEITA のガイド（4）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
(7) 製品の安全性	1.有害性·有毒性	A	(a) 使用禁止物質を部品・材料に使用していないか	(a) 使用していないこと
		A	(b) 使用制限物質の使用量は現行（相当）品に比較して使用量を削減しているか 削減率＝新製品の特定された物質ごとの使用量 ／現行（相当）品の特定された物質ごとの使用量	(b) 削減率は 1 以下であること
		A	(c) 新規化学物質を使用する場合、安全性に問題はないか 化審法：化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（第 3 条、第 4 条） 毒劇法：毒物及び劇物取締法（中央薬事審議会判定基準） 安衛法：労働安全衛生法（第 57 条の 2）	(c) 以下の基準に該当しないこと ①化審法に基づく新規化学物質に係る試験の結果問題のないこと ②毒劇法で劇物の判断基準以下であること ③安衛法に基づく有害性の調査の結果、問題がないこと
		A	(d) 新製品及びその部品は使用者が使用時などに、手で触れたり、なめたりしても問題がないか	(d) 上記（a）、（b）、（c）を総合して判断すること ◎ただし、安全上・品質上などの問題で使用が回避できない場合又は判定が悪くなる場合は、別途協議すること（将来に向けた回避策等の明確化） また、形態変化により安全な状態になる（合金化等）場合は、技術的な裏づけをとること
	2.廃棄時の有害性・有毒性	A	(a) 焼却処理や埋立処理時に有害有毒な物質を発生させる物質は含まれているか（塩化ビニルなどの使用含有）	(a) すべての部品材料を確認すること
		A	(b) 上記で特定された物質は現行（相当）品に比較して使用量を削減しているか 削減率＝新製品の特定された物質ごとの使用量 ／現行（相当）品の特定された物質ごとの使用量	(b) 削減率は 1 以下であること ◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ず使用し、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		A	(c) 新製品及びその使用部品は廃掃法に基づく溶出試験の結果、問題はないか （溶出試験：昭和 48 年環境庁告示第 13 号による） 廃掃法：廃棄物の処理及び清掃に関する法律（第 2 条）	(c) 廃掃法に定める有害物質の溶出試験の結果、特別管理産業廃棄物に該当しないこと ◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ず判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		A	(d) 上記で特別管理産業廃棄物に該当する場合、その回避に向けた技術開発の日程は明確か	(d) 3 年以内に特別管理産業廃棄物該当の回避の計画があること ◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ず回避ができない場合は、その理由を明記すること
	3.爆発、爆縮	A	(a) 新製品中に爆発性のある物質はないか 使用時及び廃棄時の爆発性評価	(a) 爆発の危険性がない物質であること
		A	(b) 新製品中に爆発性あるいは爆縮性のある構造はないか 使用時及び廃棄時の爆発性評価	(b) 爆発、爆縮の可能性のない構造であること ◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ない場合は、それが不可欠な理由を明記し、安全確保のための基準を明確にすること 爆発、爆縮の可能性は従来（同等）品に比較し、同等以下であること

表 2.4-1　JEITA のガイド（5）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準	
(7) 製品の安全性	4.危険性	A	(a) 製品中に分解解体時において危険な構造はないか	(a) 危険性がないこと	◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ない場合は、それが不可欠な理由を明記し、安全確保のための基準を明確にすること
		A	(b) 高圧などの特殊部品・構造はないか	(b) 使用していないこと	
		A	(c) 引火性はないか	(c) 引火性がないこと	
(8) 製品の包装	1.包装材料の減量化・小型化	B	(a) 使用包装材料は現行（相当）品より軽量化したか 減量化率＝新製品の使用包装材重量 ／現行（相当）品の使用包装材重量	(a) 減量化率は1以下とする	◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合はその理由を明記すること また、再使用、再資源化の対応により判定が悪くなる場合はこれらを優先して評価すること
		B	(b) 使用包装形態は現行（相当）品より小型化したか 小型化率＝新製品の使用包装容積 ／現行（相当）品の使用包装容積	(b) 小型化率は1以下とする	
		B	(c) 使用している発泡スチロールは削減したか 削減率＝新製品の発泡スチロール包装材料使用量 ／現行（相当）品の発泡スチロール包装材料使用量	(c) 削減率は1以下とする	
		B	(d) 包装材の構造部品数は削減したか 削減率＝新製品の包装材構成部品数 ／現行（相当）品の包装材構成部品数	(d) 削減率は1以下とする	
	2.包装全体の小型化	B	(a) 包装容積の削減はしたか 容積削減率＝新製品の包装容積 ／現行（相当）品の包装容積	(a) 容積削減率は1以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること	
		B	(b) 使用済み後の寸法が小さくできないか、また小さく分割できないか ・廃棄時に処理の容易な寸法、容積、形状に分割できる構造になっていることを評価する	(b) 包装部品別の分割後の最大寸法、容積を計測し、各製品別に判定すること	
	3.再使用の促進	A	(a) 使用包装材料は複数回使用可能か	(a) 再使用できる包装形態であること	
	4.再生資源の利用	A	(a) 使用包装材料は再資源化可能か 比率＝使用包装材料の再資源化可能材料重量 ／使用包装材料の総重量	(a) 比率、絶対量とも従来同等以上とする	◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合はその理由を明記すること
		A	(b) 再生材料を使用しているか 比率＝使用包装材料の再生材料使用量 ／使用包装材料の総重量	(b) 比率、絶対量とも従来同等以上とする	

表 2.4-1　JEITA のガイド（6）

評　価　項　目		優先度	評　価　基　準	判　定　基　準
(8) 製品の包装	4.再生資源の利用	A	(c) 異種材料を複合した包装材料の使用は回避しているか	(c) 使用しないこと ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、その使用が回避できない場合、その材料名と理由を明記すること
	5.有害性・有毒性	A	(a) 焼却処理や埋立処理時に有害有毒な物質を発生させる物質は含まれていないか ・塩化ビニルの全廃 ・その他	(a) すべての部品・材料を確認すること 全廃済み 使用中・含有（　g／個） 特定された物質ごとの使用・含有量（　g／個）
		A	(b) 上記で特定された物質は現行（相当）品に比較して使用量・含有量を削減しているか 比率＝特定された物質重量／使用包装材料の総重量	(b) 比率、絶対量とも従来同等以下とする ◎ただし、安全上・品質上などの問題でやむを得ず使用し判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
		A	(c) 使用禁止物質を包装材料中に使用していないか （例えば、特定臭素系難燃剤など）	(c) 使用していないこと
		A	(d) 使用制限物質の使用量は現行（相当）品の包装に比較して使用量を削減しているか 削減率＝新製品の包装に特定された物質ごとの使用量 ／現行（相当）品の包装に特定された物質ごとの使用量	(d) 削減率は 1 以下であること
	6.材料統一	B	(a) 包装材料の材料統一を進めているか 削減率＝新製品の使用包装材料の材料品目数 ／現行（相当）品の使用包装材料の材料品目数	(a) 削減率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
	7.材料名表示	A	(a) 合成樹脂材料に ISO 材料記号を表示しているか	左記の基準で、分かりやすく明記されていること ◎ただし、機能、性能、安全性、外観上、その他により、表示できない場合その部品名と理由を明記すること
		A	(b) 表示文字の大きさは適切か（最低 12 ポイント以上）	
		A	(c) 表示の場所は適切か（分別の際に見やすいこと）	
(9) 省エネルギー・省消耗材	1.省エネルギー	A	(a) 新製品は現行（相当）品より消費エネルギーが減少しているか 省エネルギー率＝新製品の消費エネルギー ／現行（相当）品の消費エネルギー （単位機能当たりの消費エネルギーで評価する）	(a) 省エネルギー率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること

表 2.4-1　JEITA のガイド（7）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
(9) 省エネルギー・省消耗材	2.省消耗材	A	(a) 新製品は現行（相当）品より使用段階における消耗材の使用量が減少しているか 省消耗材率＝新製品の消耗材量 ／現行（相当）品の消耗材量 （単位機能当たりの消耗材料で評価する） （適切な評価指標を確立する）	(a) 省消耗材率は 1 以下とする ◎ただし、新機能の追加、安全性向上、耐久性向上、その他により、判定が悪くなる場合は、その理由を明記すること
(10) 情報の開示	1.処理情報提供のための資料	A	(a) 使用・購入先、廃棄物処理業者、資源再生業者等からの情報提供要求に応えるため、次の情報は整理されているか ①回収、運搬の容易でないものの処理法 ②分解、分別に関する手順や方法、専用工具の必要性 ③主要部品、材料のリスト ④上記処理に係る安全性確保のための諸注意事項 ⑤MSDS（化学物質等安全データシート）の必要な場合、その整備	(a) これらの資料が量産時前までに作成されていること
	2.製品廃棄時の情報提供	A	(a) 製品の廃棄時に特に必要とされる注意事項を有するものには、その本体又は取扱説明書にその注意事項を適切に表示記載してあるか	(a) 注意事項の内容は、顧客及び回収業者に危険性等を認知させる目的のものであること
(11) 生産工程	1.有害性・有毒性	A A A A	(a) 使用禁止物質を生産工程に使用していないか (b) 使用禁止物質の使用が不可避な場合、使用の回避に向けた技術開発の日程が明確か (c) 使用制限物質の使用量は現行（相当）品に比較して使用量を削減しているか 削減率＝新製品の特定された物質ごとの使用量 ／現行（相当）品の特定された物質ごとの使用量 (d) 使用禁止物質又は使用制限物質が製品中に残留しないか	(a) 使用していないこと (b) 3 年以内に使用回避の計画があること (c) 削減率は 1 以下であること (d) 残留しないこと （(a)〜(d) について）◎ただし、安全上・品質上などの問題で使用が回避できない場合又は判定が悪くなる場合は、別途協議すること（将来に向けた回避策等の明確化）
	2.廃棄物	A A A	(a) 廃棄物の発生を最小化できる生産工程か (b) 再資源化、再使用を考慮した生産工程か (c) 廃棄物の処理は適正か	(a) 再使用できる部材を利用した工程か 再資源化を容易にできる工程か 材料として再投入を容易にできる工程か (b) 再資源化できる廃棄物の分別は容易か (c) 廃掃法を遵守していること

表 2.4-1　JEITA のガイド（8）

評価項目		優先度	評価基準	判定基準
(11) 生産工程	3.設備	A	（a）新規設備の導入が必要な場合、環境負荷の少ない設備を選定したか （電力、用水、保守用品、消耗材、その他）	（a）従来の設備と比較検討されていること
		A	（b）環境負荷低減のための付帯設備は検討したか	（b）検討されていること
	4.エネルギー、資源	A	（a）電力使用量は削減しているか 削減率＝新製品の生産電力使用量（製品 1 当たり） ／従来（同等）品の生産電力使用量（製品 1 当たり）	（a）削減率は 1 以下とする
	5.歩留まり	A	（a）歩留まりは向上しているか 向上率＝新製品の歩留まり（一貫（総合）歩留まり、あるいは工程ごと歩留まり） ／従来（同等）品の歩留まり（一貫（総合）歩留まりあるいは工程ごと歩留まり）	（a）向上率は 1 以上とする
(12) 流通	1.流通形態	C	（a）流通形態は鉄道などの利用を考慮したか	（a）考慮されていること
	2.効率化	C	（a）出荷をまとめるなどによるトラック便の削減を考慮したか	（a）考慮されていること

表 2.4-2　JEITA の総合評価リスト（1）

評価項目		適用	評価基準		判定基準						個別評価点 (X×Y)	特記事項
			評価基準	評価方法		評価基準点（Y）						
						3点	2点	1点	0点	−1点		
1. 減量化	（1）製品の小型化・軽量化		製品の重量の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕× 100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			製品の体積の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕× 100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（2）部品の小型化・軽量化		小型化する部品の使用率	(小型化部品点数／部品総数) ×100%	1	≧20%	≧10%	≧5%	≧0%	なし		
			軽量化する部品の使用率	(軽量化部品点数／部品総数) ×100%	1	≧20%	≧10%	≧5%	≧0%	なし		
			大型化する部品点数の減少率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧20%	≧10%	≧5%	≧0%	<0%		
			重量化する部品点数の減少率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧20%	≧10%	≧5%	≧0%	<0%		
	（3）省資源		主要原材料の使用量削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			使用部品点数の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧20%	≧10%	≧5%	≧0%	<0%		
	（4）標準化		標準部品の使用率	（標準部品点数／総部品点数）×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
2．長寿命化			設計寿命の増加率	（新製品／基準製品）× 100%	3	≧200%	≧150%	≧120%	≧100%	<100%		
3. 再資源化	（1）再資源化の可能性		再資源化可能材料の使用率	（再資源化可能重量／総重量）×100%	3	≧80%	≧50%	≧10%	≧0%	なし		
	（2）材料統一		樹脂材料の品種数の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		構造用に限る
			金属材料の品種数の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		構造用に限る
			再資源化可能材料の品種数	（再資源化可能品種／総品種）×100%	3	≧80%	≧50%	≧10%	≧0%	なし		
	（3）再生材料の利用		再生材料の使用比率	（再生材料の合計重量／総重量)×100%	3	≧50%	≧30%	≧10%	≧0%	なし		
	（4）再資源化の促進		複合材料の点数の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			複合材料の重量の削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
4．製品の破砕処理			破砕機（シュレッダー）への対応性	大きさは 1m 以内か？	2	−	−	以内	−	以上		大型製品が対象
5. 分解性	（1）分解性		部品、部材の取り外し容易性	再資源化、有害物質の取り外し率(重量)	3	≧80% 可	≧50% 可	≧20% 可	≧0% 可	全く不可		大型製品が対象
	（2）部品の材料分別		部品の材料分別率	複合材料部品の材料別分離率（重量）	1	≧80% 可	≧50%	≧20%	≧0%	全く不可		大型製品が対象
	（3）材料の分別性		材料の分別率	再資源化可能材料の分別率（種類）	2	≧80% 可	≧50%	≧20%	≧0%	全く不可		大型製品が対象
	（4）材料名の表示		材料名の表示率	樹脂材料への材料記号の表示率	3	≧80%	≧50%	≧20%	≧0%	全くなし		大型製品が対象
6．回収・運搬			製品の回収・運搬の容易性	左右のバランス、とっ手設置等の配慮	2	−	−	あり	−	なし		大型製品が対象
7. 製品の安全性	（1）有害性・有毒性		使用禁止物質の使用	使用禁止物質の使用の有無	3	なし	−	−	−	あり		社内基準で規定
			管理対象物質削減率	〔1−（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		社内基準で規定
			新規使用物質の適正使用	MSDS の入手と安全対策への配慮	3	−	あり	−	−	なし		
			使用時の有害・危険性	手で触れたり、なめても問題ないか	3	−	−		−	懸念あり		内蔵部品は対象外
	（2）廃棄時の有害性・有毒性		有害物質の発生の可能性	焼却処理時に有害ガス発生物質の有無	3	−	−	なし	−	あり		塩化ビニル等
			有害物質の発生の可能性低減	上記物質の削減率	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			有害物質の発生の可能性確認	廃掃法の規制物質の溶出試験の実施	3	−	あり	−	−	なし		
	（3）爆発、爆縮		爆発、爆縮の可能性	爆発性、爆縮性の物質・構造の有無	3	−	なし	−	−	あり		
	（4）危険性		分解時の危険性	危険な構造の有無	3	−	なし	−	−	あり		
			高圧などの特殊部品、構造	特殊部品・構造の有無	3	−	なし	−	−	あり		
			引火性	引火性の有無	3	−	なし	−	−	あり		

表 2.4-2　JEITA の総合評価リスト（2）

評価項目		適用	評価基準		判定基準							
			評価基準	評価方法		評価基準点（Y）					個別評価点（X×Y）	特記事項
						3点	2点	1点	0点	－1点		
8．製品の包装	（1）包装材料の減少化・小型化		包装材料の軽量化率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		製品個当たり
			包装材料の小型化率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		製品個当たり
			発泡スチロールの削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧80%	≧50%	≧20%	≧0%	<0%		製品個当たり
			包装材の構成部材数の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		製品個当たり
	（2）包装全体の小型化		包装全体の体積の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			使用後の体積の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		折りたたみ後
	（3）再使用の促進		通い箱の寿命の向上率（回数）	（新製品／基準製品）×100%	3	≧500%	≧300%	≧200%	≧100%	≧100%		
	（4）再生資源の利用		再資源化可能材料の使用率	（再資源化可能重量／総重量）×100%	3	≧80%	≧50%	≧20%	≧0%	なし		
			再生材料の使用比率	（再生材料の合計重量／総重量）×100%	3	≧50%	≧30%	≧20%	≧0%	なし		
			異種材料の複合材料の使用	異種材料の複合材料の使用の有無	3	－	なし	－	－	あり		
	（5）有害性・有毒性		有害物質の発生の可能性	焼却処理時に有害ガス発生物質の有無	3	－	－	なし	－	あり		塩化ビニル等
			有害物質の発生の可能性低減	上記物質の削減率	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			使用禁止物質の使用	使用禁止物質の使用の有無	3	なし	－	－	－	あり		社内基準で規定
			管理対象物質の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		社内基準で規定
	（6）材料統一		包装材料の品種数の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（7）材料名表示		樹脂材料名の表示	樹脂製包装容器への材料記号の表示の有無	3	－	あり	－	－	なし		
9．省エネルギー 省消耗材料	（1）省エネルギー		消費電力削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（2）省消耗材		消耗材の使用削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		トナー等の消耗材
10．情報の開示	（1）処理情報提供資料		処理情報提供のための資料整備	資料の作成状況（有無）	3	－	完備	－	一部	全くなし		MSDS、材料表
	（2）廃棄時の情報提供		製品廃棄時の情報提供	仕様書等への注意事項の記載の有無	3	－	完備	－	一部	全くなし		
11．生産行程	（1）有害性・有毒性		使用禁止物質の使用	使用禁止物質の使用の有無	3	なし	－	－	－	あり		社内基準で規定
			管理対象物質の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	≧0%		社内基準で規定
			管理対象物質の製品への残留性	工程使用物質の製品への残留の可能性	3	－	なし	－	－	あり		
			新規使用物質の適正使用	MSDS の入手と安全対策への配慮	3	－	あり	－	－	なし		
			管理対象物資の排出削減率	大気、水系への排出（濃度／総量）の削減率	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（2）廃棄物（製品1個当たり）		廃棄物の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			再資源化、再使用率の向上	（新製品／基準製品）×100%	2	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（3）設備（製品1個当たり）		エネルギー削減率（原油換算）	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			水の使用量削減率	〔1－（新製品／基年製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			間接材料（副資材）削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
			保守用品の削減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
	（4）歩留まり		不良率の低減率	〔1－（新製品／基準製品）〕×100%	3	≧30%	≧20%	≧10%	≧0%	<0%		
12．その他	（1）流通形態		鉄道などの利用の可能性	左記の可能性	1	－	－	あり	－	なし		
	（2）効率化		まとめ出荷の可能性	左記の可能性	1	－	－	あり	－	なし		

f. 重み（X）の設定：各評価項目ごとに環境への影響度の大きさを評価に反映するために、社会的要求等を考慮して3段階ぐらいに重み付けをする。事例は3段階に重み付けしている。

g. 評価基準点（Y）の設定

・判定基準として、評価基準である使用率や削減率を3～5段階で設定し、評価基準点を与える。事例では5段階としている。

・基準とする削減率等は開発目標等を勘案して決める。

・量的な評価が困難な項目は有無等の定性的基準を当てはめる。

・評価基準点は基準製品を0点とし、改善方向に加点するようにし、悪化はマイナス点とする。

h. 個別評価点（$X \times Y$）の算出：個別評価点は各評価項目の重み点（X）と評価基準点（Y）をかけ算して算出する。

i. 総合評価点［$\Sigma(X \times Y) / Z$］の算出

・総合評価点は個別評価点を合計し、評価項目数（Z）で割った平均点とし、次の算式による。

総合評価点＝$\Sigma(X \times Y) / Z$

・評価は基本的には総合評価点で行い、プラス点になれば改善と評価されるが、個別の評価項目での目標未達成等を含めて総合判定に委ねることとする。

2）評価項目、評価基準等の設定方法

前述の評価の基本に従い適用する評価項目を設定し、各項目に対してその改善を評価するため、以下の事例のような評価基準を策定する。評価基準は可能な限り率で表し、率が大きいほど改善につながるように策定するのが分かりやすい。

評価方法は基本的には｛**1－（新製品/基準製品）**｝**×100％**の算式で計算するが、評価困難な評価基準は「あり・なし」で評価する。

重み付けは個人の主観に左右されないように基準化しておくのが望ましい。

評価基準点に対する改善率の当てはめは、製品の多様化で基準化が困難な場合には製品ごとに変えてもよいものとする。

表2.4-2に例を示す。

①減量化

a. 製品の小型化・軽量化：製品本体の重量及び／又は体積の削減率で評価する。

b. 部品の小型化・軽量化：小型化・軽量化する構成部品の使用率や

逆に大型化・重量化する構成部品の使用率で評価し、システム化商品に適用する。

c. 省資源：主要構成材料の使用量や構成部品点数の削減率で評価する。

d. 標準化：標準部品の使用率で評価する。
標準化は省資源化、廃棄物の分別容易化につながり、減量化にかかわる項目とする。

②長寿命化

a. 設計寿命の増加率で評価する。

b. 長寿命化により省資源化、廃棄物の削減等環境負荷の低減につながる。

③再資源化

a. 再資源化の可能性：以下のように策定した再資源化可能材料や再資源化可能部品の使用率で評価するが、部品の使用率の評価は使用部品の総重量に対する割合とする。
　ここでは再生材料の定義を策定しておく必要がある。
（例）・再生原料を 50 %以上含有すること
　　　・工程での再使用（スプールランナーの再使用等）は含めないこと
　また、リサイクル可能性の定義を明確にする必要がある。すなわち、現状での可能性（コスト、技術）とするのか、製品が廃棄される時期を想定するのかを決める。
　リサイクル可能・不可能の事例を一覧表で定義しておくとよい。
（例）異種材料を物理的又は化学的に接合した材料はリサイクル不可とする。
　　・樹脂材料でめっき、コーティング等表面処理したもの等
　　・金属材料で表面処理したもの（塩ビ鋼板、ほうろう材、接合材等）
　　・金属材料で融着されたガラス等
　　・異種材料と一体化したもの（アルミコート材、樹脂コート材等）
　　・セラミック材料等

b. 材料統一：材料統一は再資源化を容易にし、樹脂や金属の種類数や再生可能材料数として評価する。

c. 再生材料の利用：再生材料の使用比率で評価する。

d. 再資源化の促進：複合材料は再資源化の障害となり、その削減率を評価する。

④製品の破砕処理

電子部品は破砕処理の必要なしのため、一般には評価対象としない。評価対象とする場合は、破砕機への対応性（破砕機の入口寸法等）で評価する。

⑤製品の分解性

a. 分解性：再資源化可能部品や有害物質含有部品の取り外し可能率（重量）で評価するが、スピーカー、トランス、システム化商品等の大型製品を対象とする。ここでは、容易に分解するための工法を定義する必要がある。（例）標準工具による
b. 部品の材料分別：複合材料で構成される部品の材料分別可能率で評価する。
c. 材料の分別性：再資源化可能材料の分別率で評価する。
d. 材料名の表示：樹脂材料への材料記号の表示の有無を調べて、表示率で評価する。

⑥回収・運搬

基本的には電子部品は運搬の支障になるものはないが、大型部品で評価する場合は運搬の容易性として、左右のバランスや把手の有無等を評価する。

⑦製品の安全性

a. 有害性・有毒性：使用禁止物質の含有の有無、管理対象物質の削減率、新規物質の適正使用、使用時の有害性・危険性等を評価する。評価対象とする化学物質を、法規制物質（国内、輸出先）、自主規制物質等から選定し、管理対象物質としてとりまとめておくことが必要である。そのため、MSDS又は成分表を完備し、管理対象物質を使用禁止、要管理（削減）等に区分する。
b. 廃棄時の有害性・有毒性：焼却や埋め立て時に有害物質の発生の可能性を評価する。有害物質の発生の可能性の削減率を評価する（原因物質の削減）。溶出試験の実施の有無を評価する。
c. 爆発・爆縮：爆発・爆縮を起こす可能性のある物質や構造の有無を評価する。
d. 危険性：分解時の危険な構造、高圧部品、引火性の有無を評価する。

MSDS：Material Safety Data Sheet

⑧製品の包装

a. 包装材料の減量化・小型化：包装材料の重量（体積）で評価する。発泡スチロールの削減率を評価する。包装材料の種類の削減率を評価する。

b. 包装全体の小型化：包装全体の体積や使用後の体積を評価する。

c. 再使用の促進：通い箱の使用や長寿命化について評価する。

d. 再生資源の利用：再資源化可能材料や再生材料の使用率を評価する。再資源化が困難な複合材料の使用の有無を評価する。

（例）異種材料を一体化したもの

(i) 樹脂材料でコーティング等表面処理したもの

(ii) 発泡スチロール等を接着したもの等

e. 有害性・有毒性：焼却等処理時の有害物質の発生の可能性及び削減率、使用禁止物質の有無、管理対象物質の削減率等を評価する。

f. 材料統一：包装材料の品種数の削減率を評価する。

g. 材料名表示：樹脂製包装容器に対する材料記号の有無を評価する。

⑨省エネルギー・省消耗材料

a. 省エネルギー：製品の消費電力の削減率を評価する。

b. 省消耗材：消耗材がある場合は、その使用率の削減率を評価する（トナー等）。

⑩情報の開示

a. 処理情報提供のための資料：処理業者等が処理のために必要な資料（処分方法、有害物質等）の有無を評価する。

b. 製品廃棄時の情報提供：顧客への情報提供として、仕様書等への廃棄時の注意事項の記載の有無を評価する。

⑪生産工程

生産工程の評価は原則として１製品当たりで行う。

a. 有害性・有毒性：生産工程で使用する物質について、使用禁止物質の有無、管理対象物質の削減率、管理対象物質の製品への残留の可能性の有無、新規使用物質の適正使用（MSDSの有無）、管理対象物質の大気や水系への排出（濃度／量）の削減率等を評価する。

b. 廃棄物：廃棄物の削減率、再資源化･再利用率の向上等を評価する。

c. 設備：エネルギー削減率を評価する。水の削減率を評価する。間接材料（副資材）の削減率を評価する。保守用品の削減率を評価

する。

d. 歩留まり：不良率の低減は、省エネルギー、省資源、廃棄物削減と共通するが、総合評価として歩留まりを評価してもよい。

⑫流通段階の評価

流通段階の評価は、設計段階で可能な場合に評価対象とすればよい。

a. 流通形態：鉄道など環境負荷の少ない輸送方法の採用の可能性を評価する。

b. 効率化：まとめ出荷の可能性を評価する。

（7）総合判定

電子部品の開発・設計・製造者は、(5) の個別項目評価、又は (6) の総合点数評価を基本に、当該電子部品の機能の評価、経済性の評価、生産工程での評価、安全性及び使用時の環境保全性評価等の面を勘案し、総合的観点から設計変更など、対応策の検討が必要かどうかの判断を行う。ただし、以下に注意されたい。

○総合判定は個別項目ごとの評価では、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、十分留意して行うことが望ましい。

○総合判定においては製品本体の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である。

2.4.2 家電製品協会のマニュアル

本マニュアルは、(財) 家電製品協会（以下、「家製協」という）が2001年に「**家電製品 製品アセスメントマニュアル（第3版）**」というタイトルで作成したものである。以下に本マニュアルの一部を転載し、具体的な内容を説明する。

（1）マニュアルの作成目的

製品アセスメントにおいて実施すべき内容を示し、さらなる取り組みのためにその方向性を示すこととしている。

（2）対象

製品のカテゴリーとしては家電製品を対象としている。

（3）体制

事業所ごと、又は本社に製品アセスメント実施の責任者を設置し、製品アセスメントの実施及びその記録の保管を行う体制を整える。

（4）実施方法

製造事業者は、下記の内容を盛り込んだ自社の製品アセスメント実施規定を策定し、製品アセスメントを行うものとする。

a. 製品の開発規定の中に製品アセスメントを位置づける。
b. 設計時点、試作時点、量産試作時点のいずれか、又は複数時点で実施する。
c. 評価基準は可能な限り定量化に努め、評価項目・評価方法と併せて、その会社及び製品特性に応じたものとする。
d. 製品の新規度（材料・機構・機能など従来製品との対比など）及び環境に及ぼす影響度に応じた評価項目、評価基準、評価方法を決め各個別項目の評価をするとともに個別評価の結果を集約し、総合評価を行う。
e. 製品アセスメントの実施状況の確認、製品アセスメント結果に基づく処置を行い、記録に残すものとする。
f. 製品アセスメントのフォローとフィードバック、時代の変換や技術の進歩により自社の製品アセスメント実施規定の見直しを適宜行う。
g. 実施当初においては、対応可能な項目から順次速やかに行うこととする。

（5）ガイドラインの構成及び内容

本マニュアルでは、**表 2.4-3** に説明するガイドラインを提示している。

表 2.4-3　家製協のガイドラインを構成する階層

階層	各階層の記述内容
評価項目	・漏れなく製品アセスメントを実施するための検討項目リストを提示する。 ・製品アセスメント実施の目的・方向性を示す。
評価基準	・項目ごとの評価を行う際の視点・考え方を示す。 ・ Yes ／ No で回答可能な疑問文の形で記載する。
評価方法	・具体的な評価の方法（評価指標、比較対象等）を示す。 ・評価方法は、以下の二つに大別される。 　・基準となる製品（従来同等製品・機種等）と比較する。 　・一定の条件を満たしているか（法令等を遵守しているか、実施可能性について検討したか等）チェックする。 ・複数方法を併記する場合がある（複数の選択肢を提示する）。
備考	・評価に当たっての留意事項、他の評価項目や法令との関連等を記載する。 ・評価項目の重要度は、製品ごと、製造事業者ごとに異なるものと考えられるため、評価項目間の相対評価（重み付け）は、必要に応じて製造事業者各社が自ら定めるものとする。

出典：(財)家電製品協会，製品アセスメントマニュアル（2001）

また、評価項目を**表 2.4-4** に、ガイドラインの具体的な内容を**表 2.4-5** に示す。

表 2.4-4　家製協のガイドラインを構成する階層

大　項　目	小　項　目
1.減量化	1-1 製品の減量化・減容化 1-2 主な原材料・部品の減量化・減容化 1-3 希少原材料の減量化 1-4 有害物質等の減量化
2.再生資源・再生部品の使用	2-1 再生資源の使用 2-2 再生部品の使用
3.長期使用の促進	3-1 製品の耐久性向上 3-2 部品・材料の耐久性向上 3-3 保守・修理の可能性・容易性向上
4.収集・運搬の容易化	4-1 収集・運搬時の作業性向上 4-2 収集・運搬時の積載性向上 4-3 事前に分解を要する場合の環境保全等への対応
5.再資源化の可能性の向上	5-1 再資源化可能な原材料・部品の使用 5-2 再資源化可能率の向上
6.分離・分別処理の容易化	6-1 分離・分別対象物の明確化 6-2 材料・部品の種類及び点数の削減 6-3 分離・分別のための表示 6-4 材料・部品の分離・分別容易性
7.破砕・選別処理の容易化	7-1 破砕の容易性 7-2 選別の容易性
8.包装	8-1 包装の減量化・減容化・簡素化 8-2 再資源化の可能性の向上 8-3 有害性・有毒性 8-4 包装材の表示 8-5 再生資源の使用
9.安全性・環境保全性	9-1 製品に含まれる環境負荷物質の禁止・削減・管理 9-2 製造工程で使用される環境負荷物質の禁止・削減・管理 9-3 使用段階における安全性 9-4 リサイクル段階における安全性・環境保全性
10.使用段階における省エネ等	10-1 使用段階における省エネルギー性 10-2 消耗材の消費量削減
11.情報の開示	11-1 情報提供対象者の明確化等 11-2 容器包装の分別排出・分別収集促進のための情報提供 11-3 長期使用のための情報提供 11-4 製品廃棄時の注意事項に係る情報提供 11-5 収集・運搬に係る情報提供 11-6 リサイクル・廃棄物処理に係る情報提供
12.LCA	12-1 製品のライフステージごとの環境負荷の把握 12-2 環境負荷低減の可能性
13.製造段階における環境負荷低減	13-1 有害性・有毒性 13-2 廃棄物等 13-3 省エネルギー性 13-4 その他環境負荷低減
14.流通段階における環境負荷低減	14-1 製品及び包装材の減量化・減容化等 14-2 輸送方法の工夫

出典：（財）家電製品協会，製品アセスメントマニュアル（2001）

表 2.4-5　家製協ガイドライン（1）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
1. 減量化	1-1 製品の減量化・減容化	1-1-1 製品は減量化・減容化されているか	○製品全体の質量・体積について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の質量／従来製品の質量< 1 ○新製品の容積／従来製品の容積< 1 ・必要に応じて、据えつけ（占有）面積についても比較 ○製品の減量化・減容化評価（1-1）を詳細に実施する場合、主な原材料・部品の減量化・減容化評価（1-2）は省略可。
	1-2 主な原材料・部品の減量化・減容化	1-2-1 原材料は減量化されているか	○主な原材料※の質量について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の原材料質量／従来製品の原材料質量< 1 ※主な原材料：例えば、鉄、銅、アルミ、ガラス、PP、PS、ABS、等
		1-2-2 部品は減量化・減容化されているか	○主な部品の質量・体積について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の部品質量／従来製品の部品質量< 1 ○新製品の部品容積／従来製品の部品容積< 1
	1-3 希少原材料の減量化	1-3-1 希少原材料は減量化されているか	○希少原材料※の質量について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の希少原材料質量／従来製品の希少原材料質量< 1 ※希少原材料：例えば、ニッケル、コバルト、希土類元素、等
	1-4 有害物質等の減量化	1-4-1 有害物質等、リサイクルの阻害要因となる原材料は減量化されているか	○有害物質等※の質量について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の有害物質等質量／従来製品の有害物質等質量< 1 ※有害物質等：例えば、鉛・カドミウム・水銀・セレン・ベリリウム及びそれらの化合物、六価クロム化合物、等
2. 再生資源・再生部品の使用	2-1 再生資源の使用	2-1-1 再生資源を使用しているか	○再生資源を使用した部品の点数、再生資源の投入比率※について、従来同等製品・機種と比較する	○再生資源を家電製品の製造事業者が直接使用するケースはごくまれであり、素材製造事業者等との連携が必要 ※再生資源の投入比率＝投入した再生資源の質量／原材料の質量
	2-2 再生部品の使用	2-2-1 再生部品を製品製造時に使用しているか	○再生部品の使用の可能性について検討したか	○再生部品の使用を図る場合、以下のような総合的かつ中長期的な取り組みが必要 ・中古部品回収ルートの構築 ・再生部品の性能・残寿命・安全性に関する検査方法 ・体制の確立 ・再生部品の使用を想定する部品（技術革新余地の少ない部品等）における、機種横断的及び時系列的な部品の共通化
		2-2-2 再生部品を保守・修理時に使用可能か	○再生部品の使用の可能性について検討したか	○同上。ただし、残寿命についての要件は、製品製造時に使用する場合よりも穏やかなものとなる

表 2.4-5　家製協ガイドライン（2）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
3. 長期使用の促進	3-1 製品の耐久性向上	3-1-1 製品の耐久性向上が図られているか同等製品・機種と比較する	○構造等の面からみた耐久性について、従来同等製品・機種と比較する	○耐久性向上が、減量化や省エネルギーとトレードオフとなる可能性に留意。使用実態の把握、使用条件の設定を踏まえた、適切な設計寿命の設定が必要
	3-2 部品・材料の耐久性向上	3-2-1 耐久性の高い部品・材料を使用しているか	○部品・材料の耐久性について従来同等製品・機種の部品・材料と比較する	
	3-3 保守・修理の可能性・容易性向上	3-3-1 保守・修理の必要性の高い部位を特定しているか	○故障発生等の可能性を想定し保守・修理時の部品交換等を容易にすべき部位を明確化しているか	○まず、対象部位の明確化が必要 →評価項目「6-1」と同様の趣旨
		3-3-2 保守・修理の必要性の高い部位について、部品等の共通化が図られているか	○当該部位に係る部品・材料の種類数について、従来同等製品・機種と比較する	○横系列（同時点での部品間・製品間）の共通化のほか、縦系列（時系列）の共通化にも留意 →評価項目「6-2」と同様の取り組み
		3-3-3 保守・修理の必要性の高い部位にアクセスしやすい構造・組立方法となっているか	○当該部位に係る部品取り出し時間について、従来同等製品・機種と比較する （試作品等の現品でチェックする） ○部品の取り出しやすさに影響する下記要因について、従来同等製品・機種と比較する ・部品点数、結合方法、結合箇所数等	○新製品の部品取り出し時間／従来製品の部品取り出し時間＜１ ○ねじ止め等、取り外しやすい結合方法が採用されていること ○新製品の結合箇所数／従来製品の結合箇所数＜１ →評価項目「6-4」と同様の取り組み
		3-3-4 保守・修理時の安全性に配慮しているか	○保守・修理作業が安全に実施できるか （試作品等の現品でチェックする）	→併せて、評価項目「11-3」の情報提供が必要 →評価項目「9-3」と同様
4. 収集・運搬の容易化	4-1 収集・運搬時の作業性向上	4-1-1 前後・左右の質量バランスが適切で、安全かつ容易に収集・運搬が行えるか	○下記の観点から収集・運搬時の作業性について確認する ・製品全体の質量・容積 ・前後・左右の質量バランス等	○標準的な作業者１～２名で安全かつ容易に収集・運搬できること
		4-1-2 質量又は容量の大きい製品※の場合、把手や車輪が適切に配置されているか	○下記の観点から、収集・運搬時の作業性について確認する ・把手の位置の適切性、手かけの確実性 ・車輪の位置・回転方向の適切性、運搬時のバランスや身体への負担等	○標準的な作業者１～２名で安全かつ容易に収集・運搬できること ※質量又は容積の大きい製品：目安としては、質量 30 kg 以上又は容積 0.8 m^3 以上の製品

表 2.4-5　家製協ガイドライン（3）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
4. 収集・運搬の容易化	4-2 収集・運搬時の積載性向上	4-2-1 積載効率の向上が図りやすく、荷崩れを起こしにくい形状か	○製品本体のみ（裸荷）の状態での積載性について確認する。又は従来同等製品・機種と比較する	○積載効率を向上するため、必要に応じて多段積みや横積みが比較的容易にできる構造・形状を有していることが望ましい
	4-3 事前に分解を要する場合※の環境保全等への対応	4-3-1 分解時に環境負荷物質の漏出や作業上の危険はないか	○分解時における冷媒や冷凍機油等の漏出を防ぎ、安全に分解作業を実施するための対策を講じているか	※事前に分解を要する場合：セパレート型エアコンの取り外し時等 →併せて、評価項目「11-5」の情報提供が必要。
5. 再資源化の可能性の向上	5-1 再資源化可能な原材料・部品の使用	5-1-1 再生資源として利用可能な原材料が使用されているか	○製品全体の質量のうち、再生資源として利用可能な原材料の比率について、従来同等製品・機種と比較する	○新製品の再資源化可能率＞従来製品の再資源化可能率 ※再資源化可能率＝再資源化可能な原材料・部品の質量／製品全体の質量 ○ただし、「再資源化可能率」を指標として使用する場合（特に社外に訴求する場合）には十分な注意が必要
		5-1-2 再生資源・再生部品として利用可能な部品が使用されているか	○製品全体の質量のうち、再生資源・再生部品として利用可能な材料・部品の比率について、従来同等製品・機種と比較する	
	5-2 再資源化可能率※の向上	5-2-1 製品全体として再資源化可能率※は向上しているか	○再資源化可能率※について、従来同等製品・機種と比較する	
6. 分離・分別処理の容易化	6-1 分離・分別対象物の明確化	6-1-1 分離・分別する部位を特定しているか	○リサイクルのプロセスを把握・想定した上で、分離・分別を容易にすべき部位※を明確化しているか	※分離・分別を容易にすべき部位：破砕前に取り外すことにより高付加価値の再生資源・再生部品として売却可能なもの、破砕・選別処理の障害となるもの、等
	6-2 材料・部品の種類及び点数の削減	6-2-1 材料の共通化は図られているか	○材料の種類数について、従来同等製品・機種と比較する	○横系列（同時点での部品間・製品間）の共通化のほか、縦系列（時系列）の共通化にも留意
		6-2-2 部品の共通化が図られているか	○部品の種類数について、従来同等製品・機種と比較する	○横系列（同時点での部品間・製品間）の共通化のほか、縦系列（時系列）の共通化にも留意
		6-2-3 部品の点数は削減されているか（ユニット化等含む）	○部品の点数について、従来同等製品・機種と比較する	

表 2.4-5　家製協ガイドライン（4）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
6. 分離・分別処理の容易化	6-3 分離・分別のための表示	6-3-1 分離・分別するべき部位の識別は容易か	○分離・分別作業時に、対象物の特定及び位置の把握がしやすいよう配慮されているか	→併せて、評価項目「11-6」の情報提供が必要
		6-3-2 合成樹脂製部品には材質が適切に表示されているか	○質量 100g 以上の合成樹脂製部品には、表示が困難な場合※を除き、材質を表示すること ○表示記号は JIS K 6899 に基づき、表示の大きさ・場所が適切であること	○表示の大きさは最低 12 ポイント。可能ならば 30 ポイント以上が望ましい ○添加剤（充填剤、可塑剤、難燃剤等）を含んだ表示であることが望ましい ※表示が困難な場合：記号を入れる場所がない場合、表示により性能・機能を損なうおそれがある場合等
		6-3-3 小型 2 次電池及び同使用製品等に係る表示等が適切になされているか	○小型 2 次電池を使用していること、電池の種類、内蔵位置等について、本体に表示又は取扱説明書に記載しているか	→併せて、評価指目「11-3」「11-6」の情報提供が必要
	6-4 材料・部品の分離・分別容易性	6-4-1 分離が容易な構造・組立方法となっているか	○分離作業時間について、従来同等製品・機種と比較する（試作品等の現品でチェックする） ○分離しやすさに影響する下記要因について、従来同等製品・機種と比較する ・結合方法、結合箇所数、取り付け方向等 ○分離作業に要する工具・熟練度等について確認する	○新製品の分離作業時間／従来製品の作業時間＜ 1 ○ねじ止め等、取り外しやすい結合方法が採用されていること ○新製品の結合箇所数／従来製品の結合箇所数＜ 1 →評価項目「6-4」と同様の取り組み ○標準的な工具（又は工具なし）で容易に分離できること
		6-4-2 複合材料の使用は削減されているか	○分離困難な複合材料※を使用した部品の点数について、従来同等製品・機種と比較する	※分離困難な複合材料：めっき、塗装、印刷、ラベル等
		6-4-3 大型部品の材料の共通化は図られているか	○大型部品における使用材料数について、従来同等製品・機種と比較する	
		6-4-4 複合材料を使用している場合、素材ごとの分離は容易か	○複合材料の分離・分別の必要性、容易性について確認する	○分離・分別対象の複合材料は、容易に分離できるか、又は分離せずに再資源化・適正処理できること
		6-4-5 小型 2 次電池を使用している場合、取り出しやすい構造か	○ユーザー、修理業者が小型 2 次電池を取り外しやすいか	→併せて、評価項目「11-3」「11-6」の情報提供が必要

表 2.4-5　家製協ガイドライン（5）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
7. 破砕・選別処理の容易化	7-1 破砕の容易性	7-1-1 破砕機による破砕処理が容易か	○破砕機の能力（目安）を設定し、それを上回らないことを確認する ○材料・構造・強度について、従来同等製品・機種と比較する	○自社製品がリサイクルされる施設の破砕機で破砕処理可能であること
		7-1-2 破砕機に投入可能な寸法か	○破砕機の投入口径（目安）を設定し、それを上回らないことを確認する	○自社製品がリサイクルされる施設の破砕機に投入可能な寸法であること
		7-1-3 爆発性・有害性を有する物質は含まれていないか	○爆発性・有害性の観点から、破砕処理の阻害要因がないか確認する	○爆発性、有害性を有する物質を含まないこと ○含む場合は、①基準製品以下であること、②物質名が明記されていること
		7-1-4 設備や再生資源を損傷、汚染する物質はないか	○設備や再生資源への影響の観点から、破砕処理の阻害要因がないか確認する	○設備や再生資源を損傷・汚染する物質を含まないこと ○含む場合は、①基準製品以下であること、②物質名が明記されていること
		7-1-5 破砕処理の阻害要因となる原材料・部品が含まれている場合、その分離は容易か	○破砕困難な部位があるときは、その部位を容易に分離できるか	→評価項目「6-4」と同様
	7-2 選別の容易性	7-2-1 類似した物性を持つ異種原材料が併用されていないか	○類似した物性を持つ異種原材料の種類数について、従来同等製品・機種と比較する	
8. 包装	8-1 包装の減量化・減容化・簡素化	8-1-1 包装材は減量化・減容化・簡素化されているか	○包装材の質量・体積、包装時の体積について、従来の包装材と比較する	○新製品の包装材の質量／従来製品の包装材の質量＜１ ○新製品の包装材の容積／従来製品の包装材の容積＜１ ○ただし、安全性、機能性、経済性等への配慮が必要
		8-1-2 使用済み包装の寸法を小さく、又は小さく分割できないか	○開梱後の段ボールや発泡スチロールの回収を容易にする配慮※がされていること	※回収を容易にする配慮：例えば、大きな発泡スチロールにはノッチを入れて小片に割りやすくするなど
	8-2 再資源化の可能性の向上	8-2-1 複合材料の使用は削減されているか	○複合材料を使用した包装材の質量について、従来の包装材と比較する	

表 2.4-5　家製協ガイドライン（6）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
8. 包装	8-2 再資源化の可能性の向上	8-2-2 材料の共通化は図られているか	○包装材における使用材料数について、従来の包装材と比較する	
		8-2-3 複数材料が使用されている場合、素材ごとの分離は容易か	○発泡スチロールと段ボール等は分離できるか	
	8-3 有害性・有毒性	8-3-1 適正処理・リサイクルの障害となる物質が使用されていないか	○焼却処理時に有害ガスを発生する物質が使用されていないか ○印刷インクに重金属は含まれていないか	
	8-4 包装材の表示	8-4-1 包装材には法令等に基づく表示が適切になされている	○識別表示は、資源有効利用促進法（指定表示製品）関連法令、工業会ガイドラインを満たしているか ○プラスチック製包装材の材質表示は JIS K 6899 に基づき、表示の大きさ、場所が適切か	
	8-5 再生資源の使用	8-5-1 再生資源を利用した包装材が使用されているか		○再生段ボール、再生発泡スチロール、その他の再生資源を利用した包装材を使用することが望ましい
9. 安全性・環境保全性	9-1 製品に含まれる環境負荷物質の禁止・削減・管理	9-1-1 製品に含まれる環境負荷物質に関連する法令を遵守しているか	○下記の法令に適合していることを確認する ・化審法（第 1 種／第 2 種特定化学物質） ・安衛法（製造等禁止物質） ・オゾン層保護法（オゾン層破壊物質） ・化学物質管理促進法（MSDS 対象物質）等	
		9-1-2 製品に含まれる環境負荷物質に関連する業界又は自社による自主基準を満たしているか	○自主基準等（禁止・削減・管理）が存在する場合は、当該基準等に適合していることを確認する	○代替物質がない場合は、使用量を把握するとともに、使用中・使用後の環境負荷を極力低減するよう、再商品化等の一環として、リサイクル・適正処理の仕組みを構築することが望ましい
	9-2 製造工程で使用される環境負荷物質の禁止・削減・管理	9-2-1 製造工程で使用される環境負荷物質に関連する法令を遵守しているか	○下記の法令に適合していることを確認する ・オゾン層保護法 ・大気汚染防止法（及び大気環境基準） ・水質汚濁防止法（及び水質環境基準） ・土壌汚染対策法（及び土壌環境基準） ・廃棄物処理法等	→評価項目「13-1」と同様

表 2.4-5　家製協ガイドライン（7）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
9. 安全性・環境保全性	9-2 製造工程で使用される環境負荷物質の禁止・削減・管理	9-2-2 業界又は自社による自主的基準を満たしているか	○自主基準等（禁止・削減・管理）が存在する場合は、当該基準等に適合していることを確認する	○代替物質がない場合は、使用量を把握するとともに、製造工程からの環境負荷を極力低減する仕組みを構築することが望ましい
	9-3 使用段階における安全性	9-3-1 使用段階における安全性に関連する法令を遵守しているか	○以下の法令に適合していることを確認する ・電気用品安全法（電源コード、電源輻射）等	
		9-3-2 保守・修理時の安全性に配慮しているか	○保守・修理作業が安全に実施できるか確認する	→併せて評価項目「11-3」の情報提供が必要 →評価項目「3-3」と同様
	9-4 リサイクル段階における安全性・環境保全性	9-4-1 リサイクル段階における安全性に配慮しているか	○リサイクルのプロセスを考慮した上で、有害性、爆発性、その他の危険性（引火性等）について評価する	
		9-4-2 リサイクル施設に悪影響を及ぼさないよう配慮しているか	○リサイクルのプロセスを考慮した上で、易溶融性、発熱性、爆発性、腐食性、引火性等について評価する	
		9-4-3 リサイクル及びそれ以降の段階で環境負荷の原因となり得る物質の削減は図られているか	○9-1、9-2 の対象物質以外で、リサイクル、残渣の適正処理、再生資源の使用等の過程で環境負荷の原因となり得る化学物質等※の使用量を把握し、評価を行う	○通常操業時だけでなく、爆発・火災等が発生した場合の環境負荷についても考慮することが望ましい。 ※環境負荷の原因となり得る化学物質等：例えば、特定臭素系難燃剤、重金属等
10. 使用段階における省エネ等	10-1 使用段階における省エネルギー性	10-1-1 製品使用時のエネルギー消費量は削減されているか	○単位機能当たりの消費電力・消費電力量（又は CO_2 換算量）について、法令等による基準値、又は従来同等製品・機種と比較する	○法令、業界基準があるものは、その基準値を満たすこと
		10-1-2 待機時のエネルギー消費量は削減されているか	○待機時電力（又は CO_2 換算量）について、法令等による基準値、又は従来同等製品・機種と比較する	○法令、業界基準があるものは、その基準値を満たすこと
	10-2 消耗材の消費量削減	10-2-1 製品使用時の消耗材消費量は削減可能か	○単位機能当たりの消耗材※消費量について、従来同等製品・機種と比較する	○実際に削減されるか否かは使用条件によるため、適切な使用についてのユーザーへの情報提供が必要 ※「消耗材」：例えば、洗濯機の場合の水・洗剤等

表 2.4-5　家製協ガイドライン（8）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
11.情報の開示	11-1 情報提供対象者の明確化等（全般的事項）	11-1-1 情報を提供すべき対象者※が明確に把握され、表示されているか	○だれに対する情報提供か（情報提供先）が明確化され、明記されているか	※「対象者」：例えば、販売店、運搬・据付業者、ユーザー、修理業者、収集・運搬業者、リサイクル・廃棄物処理業者等
		11-1-2 情報提供の項目・内容・表現方法・表示方法（場所）等は適切か		○対象者が、必要なときに必要な情報を容易に得られるよう、工夫されていること ○表現方法は、対象者にとって容易に理解できるようになっていること
	11-2 容器包装の分別排出・分別収集促進のための情報提供（販売店、運搬・据付業者、ユーザー向け）	11-2-1 関係法令、工業会ガイドライン等に基づく表示がなされているか	○資源有効利用促進法（指定表示製品）の対象となる容器包装※には同法の省令（判断基準）に基づく表示を行うこと ○プラスチック製容器包装には、JIS K 6899-1（ISO 1043-1）の方式による材質表示を推奨する。 ○「段ボール」についてはリサイクル推進シンボルの表示を推奨する（任意規格）	※指定表示製品の対象となる容器包装：家電製品の包装材のうち「その他紙製容器包装」、「その他プラスチック製容器包装」に該当するもの
	11-3 長期使用のための情報提供（ユーザー、修理業者向け）	11-3-1 保守・修理など長期使用に役立つ情報について容易に知ることができるようになっているか	○情報の内容（有効性）、表現方法、表示方法（場所）	○メーカーの保証、保守・修理、消耗部品の供給等に関する情報が、取扱説明書等に分かりやすく記載されていること
		11-3-2 故障診断とその処置、安全性等に関する情報を修理業者に提供できるか		○構造及び修理の方法について、取扱説明書及びサービスハンドブック（マニュアル）に分かりやすく記載されていること
	11-4 製品廃棄時の注意事項に係る情報提供（ユーザー向け）	11-4-1 ユーザーが製品を廃棄する際に、環境及び安全・衛生面で特に注意すべき事項について、取扱説明書等に分かりやすく記載されているか	○廃棄時に特に必要とされる注意事項に係る情報が、本体・付属品又は取扱説明書等に、分かりやすく記載されているか ○情報の内容（有効性）、表現方法、表示方法（場所）について確認する	○収集・運搬及びリサイクル処理の段階で弊害となるような事柄について具体例で示す（例：冷蔵庫廃棄時には、庫内に可燃物や食材の残りもの等を残さない） ○本体・付属品（樹脂部位）にシールを貼付する場合、シールの材質は貼付される側の素材と同一素材又は相溶性素材が望ましい

表 2.4-5　家製協ガイドライン（9）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
11. 情報の開示	11-5 収集・運搬に係る情報提供（販売店、運搬・据え付け及び収集・運搬業者向け）	11-5-1 使用済製品を収集・運搬する際の注意事項について容易に知ることができるようになっているか	○収集・運搬時の留意点、分解が必要な場合はその方法、専用工具の必要性等に関する情報が、本体・付属品等に、分かりやすく記載されているか ○情報の内容（有効性）、表現方法、表示方法（場所）について確認する	○環境保全や安全性確保に有効な情報であること
	11-6 リサイクル・廃棄物処理に係る情報提供（ユーザー、リサイクル・廃棄物処理業者向け）	11-6-1 環境保全の促進、処理時の安全性確保のため特に注意すべき事項について、本体、付属品に記載されているか	○情報の内容（有効性）、表現方法、表示方法（場所）について確認する	○環境保全、安全性確保のために、特に注意すべき事項の例としては、冷媒及び断熱材発泡剤の種類、鉛はんだの使用の有無・箇所、充電式電池の種類・箇所など
		11-6-2 リサイクルの促進及び環境保全の促進、処理時の安全性確保に資する情報を記載した資料（処理マニュアル類）が整備されているか	○下記項目を記載した処理マニュアル類の整備状況 ・製品の構造 ・主要部品の材質名と取り外し方 ・環境負荷物質を含む部品・材料の使用箇所・個数等※	○処理マニュアル類が整備されており、情報の提供を求められたときは、これに協力できること ※環境負荷物質を含む部品・材料に関する項目例：例えば、小型 2 次電池の使用箇所・種類・個数、冷媒及び断熱材発泡剤の種類、鉛はんだの使用箇所、特定臭素系難燃剤（PBB、PBDE、PBDPO 類）の使用箇所、塩ビの使用箇所等
12. LCA	12-1 製品のライフステージごとの環境負荷の把握	12-1-1 素材・製造・輸送・使用・廃棄の各段階の環境負荷が分かっているか	（国内のインベントリが完備していない場合） ①段階を部分的にとらえた LCA ができるか ②環境側面を部分的にとらえた LCA ができるか （国内のインベントリが完備した場合） ③段階別に影響度がとらえられるか ④多くの環境側面をとらえた LCA ができるか	○素材・製造・輸送・使用・廃棄の段階ごとの環境負荷を比較する ・環境負荷の構成比率の大きいものから順位づけする ・新規設計品を基準品と比較する
	12-2 環境負荷低減の可能性	12-2-1 環境負荷の低減ができるか	（国内のインベントリが完備していない場合、） ①段階を部分的にとらえた環境負荷低減でもよい ②環境側面を部分的にとらえた環境負荷低減でもよい （国内のインベントリが完備した場合） ③段階別、総合的に環境負荷低減ができるか ④多くの環境側面をとらえた環境負荷低減ができるか	○環境負荷の構成比率の大きいものから軽減の工夫をする ・材質及び構造、原料調達先、生産方法や使い方の変更など ・新規設計品を基準品と比較する

表 2.4-5　家製協ガイドライン（10）

評価項目		評価基準	評価方法	備考（判断の目安等）
13. 製造段階における環境負荷低減	13-1 有害性・有毒性	13-1-1 環境負荷物質の使用は削減されているか	○環境負荷物質※の使用量について、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	※PRTR 対象物質、オゾン層破壊物質、COP3 対象物質、その他法規制対象物質等
		13-1-2 使用する場合、工場外への環境負荷は低減されているか	○環境負荷物質の工場外への排出量について、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	○ PRTR、MSDS に適切に対応。
	13-2 廃棄物等	13-2-1 副産物（産業廃棄物等）の発生量は削減されているか	○副産物（産業廃棄物等）の発生量について、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	
		13-2-2 副産物は適正処理・リサイクルされているか	○産業廃棄物等の適正処理・リサイクルについて、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	
	13-3 省エネルギー性	13-3-1 生産工程でのエネルギー消費量は削減されているか	○電力・燃料・水等の使用量について、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	
	13-4 その他環境負荷低減	13-4-1 大気・土壌・地下水の汚染等の公害防止に努めたか	○その他各種環境負荷・資源消費等について、従来同等製品・機種の製造工程と比較する	○ ISO 14001 に基づく環境管理、グリーン調達等
14. 流通段階における環境負荷低減	14-1 製品及び包装材の減量化・減容化等	14-1-1 製品は減量化・減容化されているか	○製品本体の質量・体積について、従来同等製品・機種と比較する	○製品の減量化・減容化は、流通段階の環境負荷低減の観点からも有効 ○評価基準・方法は項目「1-1」と同様
		14-1-2 包装材は減量化・減容化・簡素化されているか	○包装材の質量・体積、包装時の体積について、従来同等製品・機種と比較する	○包装外形寸法の工夫による積載容積の削減（積載効率の向上）等が望まれる ○評価基準・方法は項目「8-1」と同様
	14-2 輸送方法の工夫	14-2-1 輸送方法の工夫による省エネルギー、環境負荷低減が図られているか		○適切な輸送手段（トラック、鉄道、船舶）の選択等、輸送方法の工夫が望まれる

2.5 DfE チェックリスト・製品アセスメント導入後の展開

以上で説明してきたように、製品アセスメントは環境への配慮を製品開発のたびに行うことで、設計者に環境配慮を意識させるのには有効である。しかしながら、賢明な読者なら既にお気づきのことと察するが、製品アセスメントはその性質上、以下のような点が欠けている。

a. 設定されている項目内の基準の説明力が弱い。つまり、基準を満足した場合にどの程度環境への影響が改善されたかを科学的・客観的に理解・説明することが非常に困難である。まず、評価基準が定性的な場合、環境側面の改善効果を定量的に換算することが困難である。例えば、「部品を材料別に分離することが可能か？」という評価基準に対して、従来「いいえ」だったものが対象製品で「はい」になった場合、それによって地球環境への影響がどれだけ低減されたのかを示すことができない。次に、評価基準が定量的な場合でも同様に困難であることが多い。例えば、「部品点数を削減しているか？」という評価基準に対して、対象製品では「従来比で 10 %減」と定量的に示せても、それによる環境への影響の低減を示したことにはならない。

　この点については、製品の環境への影響を定量的に評価する手法を導入することによって解決できる。その中で最もよく知られた手法が **LCA** である。LCA については本テキストシリーズの「ⅢA：ライフサイクルアセスメント」で詳しく説明されているので、そちらを参照されたい。

b. 製品アセスメントはその言葉が表しているとおり、あくまで対象製品の設計解や中間段階での設計解に対して評価結果を提示する作業である。製品アセスメントでは、設計解を作成する当初の段階から環境への配慮を取り込むということが容易ではない。その結果として、評価はするが、なかなか実際には改善されないという事態に陥る可能性が高い。

　この点については、本テキストの Chapter 4 以降で説明する**環境調和型品質機能展開（QFDE）**という手法によって解決することができる。環境調和型品質機能展開とは製品開発の上流段階で環境への配慮を取り込むために開発された手法である。

QFDE：Quality Function Deployment for Environment

　以上で述べたように、製品アセスメントを導入した次のステップとしては、LCA や QFDE の導入へと展開するのが効果的であろう。

●参考文献

1）安井至ほか編：リサイクルの百科事典，丸善（2002）
2）（社）日本電子機械工業会：電子部品における環境配慮のためのマニュアル（1998）
3）（財）家電製品協会：製品アセスメントマニュアル（2001）

Chapter 3 LCA によるレビュー

3.1 LCA とは？

ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment:LCA）は、製品やサービスの環境への影響を評価する手法である。対象とする製品を生み出す資源の採掘から素材製造、生産だけでなく、製品の使用・廃棄段階まで、ライフサイクル全体（ゆりかごから墓場まで）での資源消費量や排出物量を計量し（インベントリ分析）、その環境への影響を評価する（影響評価）[1)]。1997 年に LCA の「原則および枠組み」が国際標準規格（ISO-14040）として発行され、11 月に日本工業規格（JIS-Q-14040）となった。

ISO-14040 では、LCA を「サービスを含む製品に付随して生じる影響をより良く理解し、軽減するために開発された一つの技法」であるとし、実施する際の「目的と調査範囲の設定」、「インベントリ分析」、「影響評価」、「結果の解釈」という 4 つのステップが明確にされている。それぞれのステップに関する詳細な方法が順次規格化されている。

(i) 目的と調査範囲の設定

このステップでは、対象とする工業製品やサービスを定め、LCA を実施する目的を明確にする。たとえば、「冷蔵庫の地球温暖化に対する影響」を評価することを定め、その目的に合致した計量すべき排出物と、それを収集する範囲を定める。

LCA で評価する対象は、本来は、その製品の「機能」である。たとえば、「冷蔵庫」であれば「庫内のものを冷やす」機能である。したがって、機種の異なる冷蔵庫を比較する場合には、同じ容積・同じ耐用年数など「機能」を同一にして比較することが求められる。

(ii) インベントリ分析（LCI）

インベントリ分析は、LCA 実施の目的に合致するように設定された調査の範囲（製品システム）全体での資源消費量や排出物量を算定するステップである。

インベントリ分析では、まず対象とする製品の製造・使用・廃棄に直接係わるデータを収集し、次に、製品に使用される素材の製造や、使用段階で消費される電気を発電する時の排出物量などを調査し、これらを結合する。

インベントリ分析では、一つのプロセスで2種以上の製品が得られる場合に、排出物量や資源の消費量を製品ごとに配分することが必要となる。一般には、製品の重量比で配分するが、市場価値が大きく異なる製品が生産される場合には、生産金額で配分されることがある。配分方法は、インベントリ分析の結果を大きく左右することがある。ISO-14040では、実施の方法を明確に記述することを強く求めている。

(iii) 影響評価

LCAでの影響評価は、一般的に、分類化、特性化、総合評価の3つの部分から成る[2,3]。

分類化では、資源消費や排出物を「地球温暖化」など予想される環境影響の種類に基づいた影響カテゴリに振り分ける。特性化では、排出物量と物質ごとに決定される特性化係数を掛け合わせ、その総和を「カテゴリインディケータ」として指標化する。特性化係数は、たとえば二酸化炭素を基準とした地球温暖化指数のように、対象とする物質が影響カテゴリに対して与える潜在的影響を基準物質に対して相対的に評価した係数である。

ISO-14040では、分類化・特性化までを影響評価の必須要素とし、対象製品のカテゴリインディケータと対象地域全体の排出物量が示すカテゴリインディケータを比較する正規化（Normalization）や、カテゴリ間の重み付けは付加的要素（optional elements）と位置づけている。特に、同一種の他社製品を比較評価する場合は、環境カテゴリ間を重み付けすることは禁止されている。

しかし、環境カテゴリ相互のトレードオフを克服し、製品の環境調和性を総合的に判断するためには、環境カテゴリ間の重み付けを実施しなければならないという観点がある。環境影響の統合化手法は、現在世界的に議論されている研究課題である。

(iv) 解釈

LCAでは、実施した調査の範囲の相違、インベントリ分析におけるシステム境界の定義や配分方法、および影響評価における特性化係数の選択によって、異なる結果が導かれる可能性がある。これらの実施方法による結果への影響が「解釈」で考察される。

ISO-14040に示された製品・サービスの評価手法としてのLCAは既に産業界での実務の段階に達し、先進企業が自社製品のLCAでの評価結果を環境報告書へ記載するようになっている。さらに、LCAの結果を製品に添付するタイプ]ラベルがISO-TR-14025となり、先進的な数社が先行的に試行し公開している。

2001年4月から、いわゆる「グリーン購入法」が施行された。現在は、たとえば情報用紙では古紙混入率等の判断基準が示され、それを満たす製品が指定されているが、将来はタイプⅢラベルのように、LCAの結果を判断基準とする方向になってゆくと思われる。

3.2 LCA の事例

3.2.1 対象製品と前提

ここでは、ヘアードライヤーを例題として採用し、文献[4]を基にしてLCA の実施事例を説明していく。ただし、説明のためにドライヤーの構造などを簡略化した実施事例としている。対象としたドライヤーの前提を以下に述べる。

- 製品：ドライヤー
- 機能：髪を乾燥させる
- システムバウンダリ：素材製造から製品処分まで
- 製造年： 2001 年
- 素材：
  - ABS 樹脂： 0.1kg
  - 冷間圧延鋼板： 0.2kg
- 組立時に必要なエネルギー：
  - 電力： 0.1kWh
  - 重油燃焼： 0.05kg
- 使用シナリオ： 1 日 20 分 5 年間使用（電力： 487kWh）
- 処分シナリオ：全量シュレッダーにかけて鉄スクラップを回収。その他は埋め立て
  - シュレッダー： 0.3kg
  - 埋め立て： 0.1kg
  - 鉄スクラップ（副産原材料扱い）： 0.2kg
- 地域：
  - 素材製造場所：関西
  - 組立場所：関西
  - 製品使用場所：関東
  - 製品処分場所：関東
- 輸送：
  - 素材製造場所から組立場所へ： 10t トラックを利用
  - 組立場所から製品使用場所へ： 10t トラックを利用
  - 製品使用場所から製品処分場所へ： 10t トラックを利用

3.2.2 結果

前項で述べた前提を基にして、LCA ソフトウェア「JEMAI-LCA」を利用して実施した結果の一部を以下に説明する。

(1) インベントリ分析

表 3.2- 1 にインベントリ分析の結果を示す。製品のライフサイクルを通じた資源の投入や環境への排出について、各物質などの量を定量的に把握したものとなっている。

特に CO_2 排出について見れば、使用段階に起因する排出量が最大であることが判る。

■ 表 3.2-1　インベントリ分析の結果

分類	名前	単位	全体	素材製造	組立	製品輸送	使用	廃製品輸送	処分	公海上
資源	coal for coke reserves	kg	7.6E−02	1.0E+02						
	coal for elect. reserves	kg	7.6E+00	1.5E+00	1.0E−02	0.0E+00	9.8E+01	0.0E+00	0.0E+00	
	Cr reserves	kg	4.3E−02	1.0E+02						
	Fe reserves	kg	−1.5E−01	−2.9E+01					1.3E+02	
	LNG reserves	kg	2.9E+01	8.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Mn reserves	kg	5.4E−03	1.0E+02						
	Ni reserves	kg	3.2E−02	1.0E+02						
	oil reserves	kg	1.7E+01	1.4E+00	3.3E−01	3.0E−02	9.8E+01	0.0E+00	0.0E+00	
	U reserves	kg	2.1E−03	1.1E−01	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	water hydro	kg	1.2E+01	1.0E+02						
大気中への排出	CH4	kg	4.0E−03	1.1E−01	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	CO2	kg	1.7E+02	5.6E−01	1.1E−01	1.0E−02	9.6E+01	0.0E+00	0.0E+00	2.9E+00
	N2O	kg	6.4E−03	1.9E+00	5.3E−01	0.0E+00	3.3E+01	0.0E+00	0.0E+00	6.5E+01
	NOx	kg	1.4E−01	1.2E+00	2.8E−01	1.7E−01	9.3E+01	1.0E−02	0.0E+00	5.1E+00
	SO2	kg	1.7E−01	8.6E−01	5.0E−02	1.0E−02	8.7E+01	0.0E+00	0.0E+00	1.2E+01
	CxHy	kg	1.3E−03	3.9E+00	1.3E+00	3.5E−01	3.0E+01	2.0E−02	1.0E−02	6.5E+01
	dust	kg	4.8E−03	5.2E+00	9.4E−01	3.8E−01	7.2E+01	2.0E−02	0.0E+00	2.2E+01
	NMVOC	kg	9.7E−03	8.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	As	kg	3.9E−07	8.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Cd	kg	2.0E−08	9.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	CO	kg	2.3E−02	1.5E+00	8.0E−02	4.0E−01	9.4E+01	2.0E−02	0.0E+00	3.6E+00
	Cr	kg	2.0E−06	1.0E−02	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Hg	kg	3.9E−07	5.0E−02	1.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Ni	kg	3.9E−05	7.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Pb	kg	9.8E−07	9.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	V	kg	2.0E−05	1.6E−01	4.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
	Zn	kg	1.5E−06	9.0E−02	2.0E−02	0.0E+00	1.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	
水域への排出	COD	kg	6.8E−06						1.0E+02	
固形排出	スラグ	kg	3.5E−02	1.0E+02						
	不特定固形廃棄物	kg	7.7E−04	1.0E+02						
	埋め立て重量	kg	1.0E−01						1.0E+02	

(2) インパクト評価

表 3.2- 2 にインパクト評価の結果を示す。ここでは、10 のインパクトカテゴリに対して評価を行なった。「カテゴリインディケータ」のカラムに示された値が各インパクトカテゴリの特性化の結果である。さらにここでは日本全体の環境影響の現状値を規格値として正規化を行なった結果を併せて示している。

■表 3.2- 2　インパクト評価の結果

インパクトカテゴリ	特性化係数	カテゴリインディケータ	規格値	規格化地域	正規化結果
資源の消費	資源の消費	9.3E−01	9.6E+10	日本全体	9.7E−12
地球温暖化	GWP	1.8E+02	1.4E+12	日本全体	1.3E−10
オゾン層の破壊	ODP	0.0E+00	1.9E+06	日本全体	0.0E+00
酸性化	AP	2.7E−01	2.2E+09	日本全体	1.2E−10
湖沼の富栄養化	NP	1.8E−02			
光化学オキシダント	POCP	6.6E−03			
人間への毒性	HCA,HCW	3.4E−01			
生態系への毒性	ECA	0.0E+00			
エネルギーの消費	MJ	3.3E+03	2.1E+13	日本全体	1.2E−10
固形排出物	kg	1.4E−01	8.3E+10	日本全体	1.2E−10

3.2.3 特徴

以上で説明したドライヤの LCA 事例からも判るように、DfE のレビューとして行なう LCA は以下の特徴を持っている。

・製品のライフサイクルにおいて、環境に対してどのような影響が定量的に発生するのかを定量的に把握できる。具体的には、インベントリ分析の結果からはどのような資源が消費され、どのような物質が排出されているかなどが判り、インパクト評価の結果からはある種の環境問題ごとにどれだけの影響を与えているのかなどが判る。ただし、これらを把握するために製品のライフサイクルについて使用や処分のシナリオなど詳細な状況設定を行なう必要がある。

・同一機能の製品（例えば前世代の製品）と比較することによって、環境側面での改善の度合いが定量的に把握できる。

・上記 2 点は、2.5 で述べた製品アセスメントが有する第 1 の欠点（説明力が弱いという点）を解決するものである。

QFDE を用いた製品の設計・開発

4.1 QFDE 利用のメリット

本テキストの DfE の大きな特徴は、出来るだけ現在企業で実際に行われている業務の流れに自然と馴染むように配慮されているという点である。つまり、従来の実務者の製品設計開発の流れに余り大きな変化をもたらさないようにとの考慮をしている。一言で言うと、従来の製品設計開発と全く同じ手順を踏んで行うようになっている。そのために**環境調和型品質機能展開**（以降では **QFDE**、Quality Function Deployment for Environment の略）というツールを利用している。QFDE は簡単に言うと、**品質機能展開**（以降では **QFD**、Quality Function Deployment の略。コラム「QFD」参照。）という製品企画の段階で広く産業界において利用されているツールを環境側面に対応させたものである。

QFD ： Quality Function Deployment

QFDE の利用のメリットをまとめておく。

○**製品設計の最上流段階で利用できる**：現在世の中で認められている設計支援ツールの多くが、企画のような設計の初期過程で使用できないという問題点をもっているため、これは大きなメリットになるだろう。これによって、設計や開発のやり直しを少なくすることができる。

○**製品に対する要求を扱うことができる**：製品への要求を直接に扱うことができる。環境側面の設計支援ツールは、「製品への要求」を取り込むことができないものが多いが、本ツールは直接扱うことが可能なため、設計という場になじみやすくなる。これは製品をいかに設計（改善）するかという要求を直接取り込むことができることを意味している。

○**従来の設計開発と親和的である**：従来の製品設計開発の流れに環境側面の項目を付加することを基本的方針として開発されており、実際の現場への導入しやすさにつながると考えられる。

QFDE は製品を設計又は改善するために利用するためのものであるから、環境側面から製品を定量的に評価するためには LCA（Chapter 3 参照）等のツールを利用すべきである。設計すなわち新たなものを作り出す際の

支援には、LCAに代表される評価作業とは異なる要素が必要であるということが本テキストの根底にある。

C O L U M N

コラム

QFD（Quality Function Deployment、品質機能展開）

QFD[1]はユーザーの製品に対する要求（顧客の世界）を品質特性（技術者の世界）に変換し、顧客を満足させる品質を確保するための方法である。具体的には品質表と呼ばれるマトリックスを使って、各部品の品質、機能、さらに工程の要素に至るまで目的手段の系列でステップごとに系統的に展開する。日本で1960年代に開発され、自動車や電機機器などの設計開発に適用例が多くある。日本のみならず欧米でも広く利用されている。QFDの手順は通常、次の四つのプロセスで構成される。①品質展開：顧客の要求品質を対象の設計品等と関連づける。②技術展開：設計品質を機能を通じて機構と関連づける。③コスト展開：目標原価から機構や部品等のコストを検討する。④信頼性展開：「ネガティブな面の品質」について展開する。QFDは以下の3点において特徴的である。

○ 顧客要求を製品設計に反映させる。

○ 製品開発参加者の意思統一を図る。

○ 製造段階でボトルネックとなる技術を抽出する。

これらの特徴は、自由度が大きい製品開発の初期段階で実施されて効果を発揮する。

上記のQFDの特徴を継承し、環境への配慮を環境品質ととらえ、QFDの品質展開及び技術展開に相当する部分に対して環境側面を取り込む手法が本書のDfEでも採用しているQFDEである。

参考文献

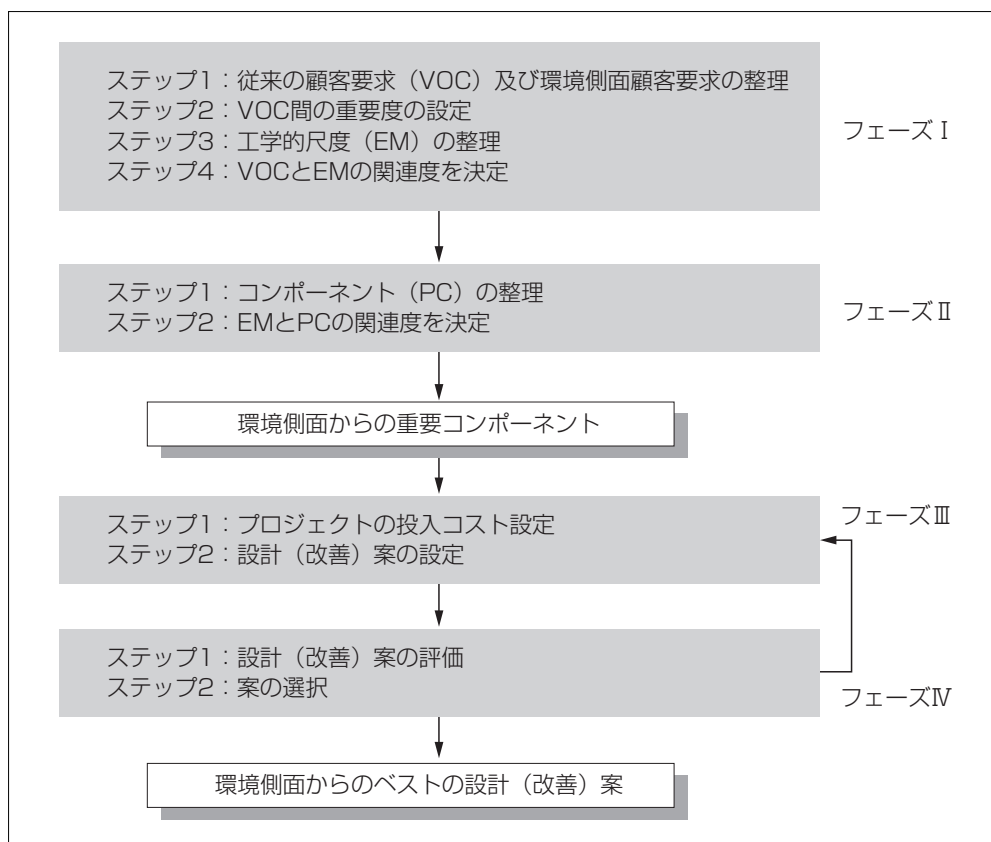
1）赤尾洋二：品質展開入門、日科技連出版社（1990）

4.2 設計部門用 QFDE を用いた環境調和型製品企画

4.2.1 全体の流れ

DfE プロジェクトの対象製品を選定した後に**図 4.2-1** に示した流れに従って QFDE を実施する。QFDE は四つのフェーズに分かれており、各フェーズは二つ又は四つのステップで構成されている。**フェーズⅠ**と**フェーズⅡ**を行うことによって、対象製品の環境側面からの重要なコンポーネントを特定することができる。**フェーズⅢ**と**フェーズⅣ**を続けて行うことによって、実際の設計（改善）案の中から環境側面でベストの案を決定することができる。

QFDE はツールといっても、表の形式に概念を整理し、簡単な計算を行って数値を算出していくものになっているので、利用する実際の 4 種類の表を、これ以降では「**テーブル**」と呼ぶことにする。

■ 図 4.2-1　設計部門用 QFDE を使用した環境調和型製品企画の流れ

VOC： Voice of Customer

EM：Engineering Metrics

PC：Part Characteristics

図 4.2-1 には本テキストで利用するいくつかの用語が登場している。ここで本テキストの利用する用語とその意味をまとめて説明しておく。

○ **VOC**：日本語では顧客要求を指す。製品に対して顧客（ユーザー）が要求する項目（例えば、テレビに対しては「画面がみやすい」が挙げられるだろう）を意味する。

○ **従来 VOC**：VOC のうち、環境側面を考えなくても要求される項目を指す。テレビに対する「画面がみやすい」は従来 VOC の一例である。

○ **環境 VOC**：VOC のうち、環境側面をとり入れた場合に要求される項目を指す。テレビに対する「リサイクルしやすくしたい」は環境 VOC の一例である。厳密にいえば、環境 VOC は顧客が発するものではなく、さらに「環境」が声を出して要求を発するわけでもないのであるが、本テキストでは DfE を行う際に「環境」も顧客の一人として扱うという立場に立っている。

○ **顧客重要度**：従来 VOC、環境 VOC のおのおののグループ内で、各項目が重要である度合いを表す数値である。

○ **EM**：日本語では工学的尺度を指す。製品の属性で計測可能なもの（例えば、テレビに対しては「質量」が挙げられるだろう）を意味する。

○ **従来 EM**：EM のうち、環境側面を考えなくても考慮される項目を指す。テレビに対する「画面サイズ」は従来 VOC の一例である。

○ **環境 EM**：EM のうち、環境側面を取り入れた場合に考慮される項目を指す。テレビに対する「材料種別数」は環境 EM の一例である。

○ **PC**：日本語では部品特徴を指すが、意味としては**コンポーネント**を指している。例えば、テレビの「筐体」は PC の一例である。

○ **EM の改善率**：フェーズⅢのステップ 2 で案を設定することによって得られる数値である。設計（改善）によって、各 EM をどの程度改善するかを表す数値である。

○ **VOC に対する改善率**：フェーズⅣのステップ 1 で案を評価する過程で得られる数値である。設計（改善）によって、各 VOC をどの程度改善するかを表す数値である。

○ **VOC に対する改善効果**：フェーズⅣのステップ 1 で案を評価する過程で得られる数値である。VOC に対する改善率に顧客重要度をかけた数値である。

○ **改善効果の合計値**：フェーズⅣのステップ 1 の結果得られる数値である。VOC に対する改善率（重み付け後）を足し合わせた数値で、フェーズⅣのステップ 2 で案の選択をする際に利用する。

なお、本節で手順を説明していく際には、ヘアードライヤーを対象製品として採用する。

4.2.2 設計部門用 QFDE でのプロジェクトメンバーの役割

設計部門用 QFDE でのプロジェクトメンバー、各メンバーの主な役割、主な参加フェーズは表 4.2-1 にまとめられる。

■ 表 4.2-1　DfE プロジェクトの参加者と QFDE での役割

参加者	主な役割	QFDE での主な参加フェーズ＊1
プロジェクトマネージャー	● 全工程における全体管理 ● 最終的な意思決定 ● 製品への要求項目間の重要度の設定 ● DfE プロジェクトの投入コスト設定 ● 設計(改善)案の設定 ● 設計(改善)案の評価	Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ
営業(サービス)担当	● 製品への要求の従来項目提示	Ⅰ
製造担当	● 製品の属性の提示 ● 製品への要求項目と製品の属性の関連度を提示	Ⅰ, Ⅲ
購買担当	● 製品内のコンポーネントの変更可能性を提示	Ⅲ
環境担当 (品質担当＊2)	● 製品への要求の環境側面項目の提示 ● 製品の環境側面の属性の提示 ● 製品への要求項目と製品の属性の関連度を提示	Ⅰ, Ⅲ
設計担当	● 製品の属性の提示 ● 製品への要求項目と製品の属性の関連度を提示 ● 製品内のコンポーネントの整理 ● 製品の属性と製品内のコンポーネントの関連度を提示 ● 製品内のコンポーネントの変更可能性を提示	Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ

(注) ＊1　フェーズ番号については、4.4 で説明する。
＊2　自社に「環境担当」が存在しない場合には「品質担当」。

本プロジェクトは複数の人間で構成するグループで実施する。その理由は以下にまとめられる。

○ 環境側面の問題は、設計や購買などに関する幅広い知識と情報が必要である。

○ 社内において製品を作るために必要なさまざまな活動の責任は、複数の部署に分散されているのが通常であるので、製品を実際に作る段階になった場合に責任をもつだろうメンバーが、当初から参加しておくことが必要である。

各メンバーの主な役割、QFDE での主な参加フェーズは、**表 4.3-1** にまとめられる。

このグループ全体で、DfE プロジェクトチームとなる。各メンバーは表 4.3-1 に示す主な役割を果たしつつ、グループとして意思決定を行う。また本グループの中では、**プロジェクトマネージャー**だけが特別な権限をもつ。つまり、プロジェクトマネージャー以外のメンバーはプロジェクトマネージャーの最終的な決定に従うことを想定している。その意味でプロジェクトマネージャーは、まさに本プロジェクト全体を管理し、主導する（段階の移行や、イベントの開催を含む）役割を持つのである。実際には、「事業部長」に相当する人が担当することが多いと想定している。

4.2.3 フェーズⅠ（顧客要求から工学的尺度への展開）

（1）ステップ 1 ：従来 VOC、環境 VOC の整理

1）従来 VOC の収集

ここでは、通常の製品開発において「マーケティング部門」が行っている作業を行う。具体的には、対象製品の消費者又はユーザーからの要望、意見を集める。営業部門やサービス部門に入ってくるクレーム情報等でもかまわない。ただし、ここでは経済的コスト面の要求は含まないことにしている。つまり、消費者は当然「値段が安い」という要求を持っているが、ここでは扱わないことにする。

いわゆる部品メーカーの場合は、消費者又はユーザーは納入先である完成品メーカーに当たるので、納入先からの要望意見を集める。

中心的な参加者(注 1)：営業（サービス）部門からのメンバー

（注 1）「中心的な参加者」は、一例を挙げています。必要なメンバーがこれに限定されるわけではありません。

2）環境 VOC の収集

ここでは、対象製品が地球環境に与える影響を考慮して、それらの影響を小さくするための要求を収集する。例えば、リサイクル性を向上させるために「分解しやすくしたい」という要求や、地球温暖化を防止することを考慮して「消費エネルギーを少なくしたい」という要求などが挙げられるだろう。

この作業は 1）の作業のように、実際に消費者やユーザーというような、要求を発する人が実際にいるわけではないため、「**環境**」が発するであろう要求として､本プロジェクトチームが考えたことを収集することになる。

環境側面要求の収集、整理の一つの方法は、製品のライフサイクルステージに沿ってチェック項目を洗い出した後に要求項目に統合するという方法である。ライフサイクルのステージのおのおのには、環境側面を考慮した場合にチェックすべき項目があるはずであるので、それらをいったん網羅的に洗い出した後に、類似の項目を集約していくのである。異なるライフステージにおいても類似のチェック項目がある場合が多いため、集約することができる。例えば、材料調達のステージ、生産のステージの双方に「資源の投入量を少なくする」という意味のチェック項目がある場合には、「資源の利用を低減したい」というような要求項目にまとめることができるだろう。

「**環境**」が要求していることなどがよく分からないという場合は、本テキストの付録に掲載しているリストをそのまま採用するという方法もある。このリストは、いわゆる環境問題への影響を低減するために製品がど

のようなことを満たせばよいかをおおよそ漏れなく集約したものになっていて、これ以降では環境VOCの「**デフォルトリスト**」と呼ぶ。

中心的な参加者：環境部門からのメンバー

3）二つの要求の整理

ここでは、1)、2) で収集した二つのグループに属する要求事項を整理する。具体的には、おのおののグループの中で似た内容の項目を一つにまとめるなどの作業を行う。項目数は、製品の利用形態の幅広さ等に応じて幅が出てくるが、おおよその目安としては、各グループにつき数個から10個程度と考えておけばよいだろう。

ただし、従来の顧客要求と環境側面の要求の両方に含まれるものもあるだろう。例えば、「消費エネルギーを少なくしたい」という要求は、ユーザーのランニングコストを低減するのと同時に、地球温暖化防止に一役買うことも可能なため、従来の顧客要求と環境側面の要求の両方に含まれる可能性がある。そのような場合には、その要求は環境側面要求のグループに入れておこう。

Q1 VOCに「安い」は入れないだろうか？

A1 入れない。「安い」というVOCはすべての製品に存在するものだろう。しかし、QFDEではVOCに入れないことにしている。購入価格に対する要求は、品質と環境に対する要求とは別の次元のものとして扱うべきだと考えているからである。またQFDにはコスト展開といった別の方法論も開発されていることも、ここで扱わない理由の一つである。

①テーブル上の操作

入力するテーブル（フェーズⅠの表）を**表 4.2-2** に示す。表 4.2-2 では、環境 VOC のデフォルトリストがあらかじめ入力されている。3) で得られた要求を表 4.2-2 の左列、顧客要求の欄に入力する。要求のうち、従来の顧客要求を上側、環境側面の要求を下側（灰色の部分）に入力する。

■ 表 4.2-2　フェーズⅠの入力テーブル

	QFDE フェーズⅠ	顧客重要度	工学的尺度												
						質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
顧客要求															
		⇦ 従来 VOC を入力													
	素材使用を低減したい														
	加工・組み立てをしやすくしたい														
	製造時排出物を処理しやすくしたい														
	簡単に運搬・保管したい														
	使用時の生活環境を守りたい	⇦ 環境 VOC を入力													
	壊れにくくしたい														
	再利用しやすくしたい														
	分解・部品の選別をしやすくしたい														
	破砕・素材の選別をしやすくしたい														
	有害物質を発生させない製品にしたい														
	消費エネルギーを少なくしたい														
		総得点													
		相対的重要度													

仮に、3) の結果得られた従来のVOCが、「早く乾かせる」、「静かに動作」、「安全に操作できる」、「操作が簡単」、「持ちやすい」、「信頼性が高い」、「ポータブルである」であり、環境VOCはデフォルトリストをそのまま採用した場合には、**表4.2-3**のようになる。

■ 表4.2-3　顧客要求（VOC）入力後テーブル

			工学的尺度												
	QFDE フェーズⅠ	顧客重要度				質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
顧客要求	早く乾かせる														
	静かに動作														
	安全に操作できる														
	操作が簡単														
	持ちやすい														
	信頼性が高い														
	ポータブルである														
	素材使用を低減したい														
	加工・組み立てをしやすくしたい														
	製造時排出物を処理しやすくしたい														
	簡単に運搬・保管したい														
	使用時の生活環境を守りたい														
	壊れにくくしたい														
	再利用しやすくしたい														
	分解・部品の選別をしやすくしたい														
	破砕・素材の選別をしやすくしたい														
	有害物質を発生させない製品にしたい														
	消費エネルギーを少なくしたい														
		総得点													
		相対的重要度													

(2) ステップ 2 ：顧客重要度の決定

ステップ 1 で設定した VOC のおのおのに、重要と考えられる度合いを設定する。具体的には、「**非常に重要**」、「**重要**」、「**少し重要**」の 3 種類に分類し、非常に重要なものを 9、重要なものを 3、少し重要なものを 1 と入力する(注 1)。この三つの値へのランキングは、従来 VOC、環境 VOC という二つのグループに対して共通に行う。つまり、両グループに共通の相対的な重要度の大きさを与える。よって従来の VOC のグループに属する要求項目（**従来 VOC**）に与えられた「9」と、環境側面要求のグループに属する要求項目（**環境 VOC**）に与えられた「9」は、重要度が等しいということを表す。

従来 VOC のグループに関しては、従来からのマーケティング活動においてとられてきた、消費者の要求に対して重み付けをする方法をそのまま踏襲すればよい。一方、環境 VOC に対して重み付けをする方法は一般には統一的なものはない。そのため、「環境への影響」を低減するという観点から本プロジェクトの総意として何らかの重み付けを行えばよいことになる。逆のいい方をすると、環境 VOC とそれらの間の**重み付け**は、そのまま製品販売時の環境側面の企業活動のアピールになるので、アピールしたい事柄をあらかじめここで設定することが可能になっている。いずれにせよ、ここで与える重み付けは、本 Chapter で説明する環境調和型製品企画の流れの最後まで大きく影響を及ぼすものであるので慎重に行う必要がある。

(注 1) ここでは、重要度を完全に定量化することが難しいと考えて、半定量的に値を与えることにしています。

Q2 従来 VOC と環境 VOC の顧客重要度は同じレベルで扱うのだろうか？

A2 はい。ただし、現状では実際には難しいかもしれない。つまり、ドライヤーの例でいえば、「早く乾かしたい」という従来 VOC と「破砕・素材の選別をしやすくしたい」という環境 VOC に対する顧客重要度を同じレベル（同一の尺度、スケール）において、1、3、9 のうちから選択することは実際には容易ではない。両者の顧客が、従来 VOC はそのソースであるユーザー、環境 VOC はそのソースであるいわゆる環境と、異なるためである。環境への配慮を対象にしたマーケティングなどが発達してくれば、その成果をとり入れることもできるだろう。

①テーブル上の操作

この値をフェーズⅠの**顧客重要度**の欄に入力する。例えば、**表 4.2-4** のようになる。

■ 表 4.2-4　顧客重要度の入力後のテーブル

	QFDE フェーズⅠ	顧客重要度	工学的尺度												
						質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
顧客要求	早く乾かせる	9													
	静かに動作	3													
	安全に操作できる	3													
	操作が簡単	1													
	持ちやすい	9													
	信頼性が高い	3													
	ポータブルである	1													
	素材使用を低減したい	1													
	加工・組み立てをしやすくしたい	3													
	製造時排出物を処理しやすくしたい	1													
	簡単に運搬・保管したい	1													
	使用時の生活環境を守りたい	9													
	壊れにくくしたい	9													
	再利用しやすくしたい	1													
	分解・部品の選別をしやすくしたい	3													
	破砕・素材の選別をしやすくしたい	3													
	有害物質を発生させない製品にしたい	3													
	消費エネルギーを少なくしたい	9													
		総得点													
		相対的重要度													

⇦ 従来 VOC 間の重要度を入力

⇦ 環境 VOC 間の重要度を入力

(3) ステップ 3 ：工学的尺度（EM）の整理

対象とする製品を特徴づけるさまざまな属性を整理する。属性とは製品を表現するための変数で、特性ともいえる。ここでは、値を客観的に特定できるもの、すなわち計測可能なものだけを扱う。その意味で「**工学的尺度（EM）**」と呼んでいる。ただし、ステップ 1 で定めた要求のいずれにも影響を及ぼさないものは削除する。要求と同様に、従来の製品設計で扱ってきた**従来 EM** と**環境 EM** の二つのグループに分けて整理する。また従来 EM と環境 EM の両方に属するものは環境 EM に属するものとし、手順としてもステップ 1 と同様に、まず列挙した後に集約する。

例を挙げて説明すると、一般に属性としては、「大きさ」、「色」、「触り心地」、「リサイクル材料の使用率」などが考えられるが、「触り心地」のように数値で表しにくい場合には、新たな「触り心地」指標を別途開発する必要がある。また、「色」がいずれの要求にも関連しない場合には同様に扱わないことになる。

要求と同様に、環境 EM が特定できないという場合は、本テキストの付録に掲載しているリストをそのまま採用するという方法もある。このリストは、いわゆる環境問題への影響に関連する製品の属性として関連するものをおおよそ漏れなく集約したものになっていて、これ以降では EM の「**デフォルトリスト**」と呼ぶ。

中心的な参加者：設計部門からのメンバー

①テーブル上の操作

定められた**EM**を**表4.2-5**の上行、フェーズⅠの「工学的尺度」の欄に入力する。EMのうち、**従来EM**を左側、**環境EM**を右側（灰色の部分）に入力する。

例えば、従来EMとして「空気流量」、「空気の温度」、「バランス（トルク）」を定め、環境EMとしてデフォルトリストを採用した場合、表4.2-5のようになる。

■ 表4.2-5　工学的尺度（EM）の入力後のテーブル

	QFDE フェーズⅠ	顧客重要度	工学的尺度												
			空気流量	空気の温度	バランス（トルク）	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
顧客要求	早く乾かせる	9		↑従来EMを入力					↑環境EMを入力						
	静かに動作	3													
	安全に操作できる	3													
	操作が簡単	1													
	持ちやすい	9													
	信頼性が高い	3													
	ポータブルである	1													
	素材使用を低減したい	1													
	加工・組み立てをしやすくしたい	3													
	製造時排出物を処理しやすくしたい	1													
	簡単に運搬・保管したい	1													
	使用時の生活環境を守りたい	9													
	壊れにくくしたい	9													
	再利用しやすくしたい	1													
	分解・部品の選別をしやすくしたい	3													
	破砕・素材の選別をしやすくしたい	3													
	有害物質を発生させない製品にしたい	3													
	消費エネルギーを少なくしたい	9													
		総得点													
		相対的重要度													

(4) ステップ 4 ： VOC と EM の関連度を決定

ステップ 1 で定めた VOC とステップ 3 で定めた EM の間にある関連性の大きさ（これ以降では「**関連度**」と呼ぶ）を定める。ここでは関連度を 4 種類にランク付けし、「関連性の大きいもの」を 9、「関連性の中程度のもの」を 3、「関連性の小さいもの」を 1 、「関連性のないもの」を 0 とする。

「関連度」といっても厳密に決定することは難しいが、ここで表す関連度は、一つの工学的尺度が変化したときに一つの要求の変化に及ぼす効果の大きさである。

また、ここで定める関連度のすべては、相対的な大小関係に整合性がなければならない。つまり、1VOC のもつ 9 という関連度は、別の EM のもつ 9 という関連度と同等であり、同様に一要求のもつ 9 という関連度は、別の要求のもつ 9 という関連度と同等である必要がある [注1]。

環境 VOC と環境 EM のデフォルトリストに含まれる項目に対しては、それらの関連度もデフォルトを付録に用意している。

中心的な参加者：設計部門からのメンバー

（注 1）ここでは整合性があるか否かを客観的に判断する方法は提示されていません。議論に参加している複数の人間が妥当と感じる値を「整合性がとれたもの」として決めることになります。

①テーブル上の操作

定められた関連度をフェーズⅠのマトリックスの部分に入力する。0の場合は特に入力する必要はない。

例えば、**表 4.2-6** のようになる。

■ 表 4.2-6　VOC と EM の関連度の入力後のテーブル

	QFDE フェーズⅠ	顧客重要度	工学的尺度 空気流量	空気の温度	バランス（トルク）	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
顧客要求	早く乾かせる	9	9	9								9		9	
	静かに動作	3	9									9		9	
	安全に操作できる	3	1	9	3					3	9			9	
	操作が簡単	1			3	1								1	
	持ちやすい	9		1	9	9	9			9	3			1	
	信頼性が高い	3	1	1				3	3		9	1		1	
	ポータブルである	1				3	9								
	素材使用を低減したい	1				9	9	1	3				9		
	加工・組み立てをしやすくしたい	3					9					9			
	製造時排出物を処理しやすくしたい	1				9	9					3			9
	簡単に運搬・保管したい	1				9	9					3			
	使用時の生活環境を守りたい	9	9	9						3				9	
	壊れにくくしたい	9								9	9				
	再利用しやすくしたい	1									9				
	分解・部品の選別をしやすくしたい	3						9	9			3			
	破砕・素材の選別をしやすくしたい	3								9		9			
	有害物質を発生させない製品にしたい	3							3						9
	消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9								9			
		総得点	276	282	93	112	117	64	48	225	171	261	9	229	36
		相対的重要度	0.14	0.15	0.05	0.06	0.06	0.03	0.02	0.12	0.09	0.14	0.00	0.12	0.02

関連度を入力

②フェーズⅠで得られる結果

○総得点

総得点は各 EM に対して得られる。各 EM に関連した、顧客要求重要度と、その「**関連度**」の積を合計したものである。計算式は付録 4 を参照する。この値が大きい EM は、ステップ 1 、ステップ 2 で定められた要求を満たすために重要であると判断できる。

テーブル上ではフェーズⅠの表の下から 2 行目に記す。

例えば、表 4.2-6 の例で「空気流量」の総得点は次のように計算されている。

「早く乾かせる」の顧客重要度	9 ×関連度 9	(= 81)
+「静かに動作」の顧客重要度	3 ×関連度 9	(= 27)
+「安全に操作できる」の顧客重要度	3 ×関連度 1	(= 3)
+「操作が簡単」の顧客重要度	1 ×関連度 0	(= 0)
⋮		
+「消費エネルギーを少なくしたい」の顧客重要度	9 ×関連性 9	(= 81)
総得点		276

○相対的重要度

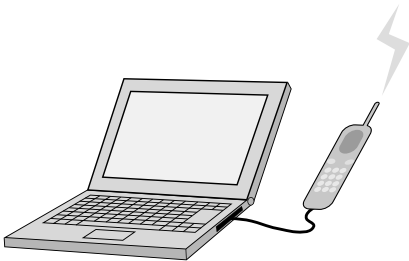
各 EM の総得点を総得点の合計値で割った値である。各 EM の総得点の合計が 1 となる。計算式では付録 4 を参照する。

テーブル上ではフェーズⅠの表の一番下の行に記す。

例えば表 4.4-5 の例で「空気流量」の相対的重要度は次のように計算されている。

総得点の全合計= 276 + 282 +…………+ 36 = 1923

「空気流量」の相対的重要度= 276 ÷ 1923 = 0.1435 ≒ 0.14

「空気の温度」「空気流量」「消費エネルギー量」「騒音・振動」「硬度」という順に重要度があるという結果になっている。

Q3 マトリックス内の関連度の数値と顧客重要度はなぜ 1、3、9 なのだろうか？

A3 理由は二つある。通常の QFD（品質機能展開）での関連度に対して 1、3、9 という離散値を与える場合がしばしばあるのでそれを踏襲しているのと、結果の中で各項目の差を大きく見せるためである。

関連度については、必ずしも 1、3、9 に固執する必要はない。場合によっては例えば 1、3、6 や 1、2、4 とする方法もあり得るだろう。顧客重要度については、離散値を与えることに固執する必要性はもっと小さい。各 VOC の評価にダイレクトで効いてしまうためである。例えば、1 から 10 までの自然数を与える方法もあり得る。

4.2.4 フェーズⅡ（工学的尺度からコンポーネントへの展開）

（1）ステップ１：コンポーネント（PC）の整理

対象製品を構成するコンポーネントを整理する。ここでコンポーネントとは、対象製品を構成する機能部品としてのまとまりを指す。これに関しても、まずは列挙した後に集約する。

中心的な参加者：設計部門からのメンバー

①テーブル上の操作

ここで使用するテーブルは**フェーズⅡ**のテーブルである。工学的尺度及びそれらの相対的重要度は、フェーズⅠで計算されたものを入力する（**表4.2-7**）。フェーズⅡの**コンポーネント**の欄に入力する。

■ 表 4.2-7　フェーズⅡの入力テーブル

	QFDE フェーズⅡ	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント				
工学的尺度	空気流量	0.14			⇧ コンポーネントを入力		
	空気温度	0.15					
	バランス（トルク）	0.05					
	質量、重量	0.06					
	体積	0.06					
	部品点数	0.03					
	材料種別数	0.02					
	硬度	0.12					
	機械的寿命	0.19					
	消費エネルギー量	0.14					
	リサイクル材の使用率	0.00					
	騒音・振動・電磁波	0.12					
	有害物質量	0.02					
		総得点					
		相対的重要度					

ドライヤーの例を用いてコンポーネントを整理し、例えば「モーター」、「ファン」、「ヒーター」、「スイッチ/ワイヤーハーネス」、「ハウジング」とした場合には、**表 4.2-8** のように入力する。

■ 表 4.2-8　コンポーネントの入力後のテーブル

	QFDE フェーズⅡ	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング
工学的尺度	空気流量	0.14					
	空気の温度	0.15					
	バランス（トルク）	0.05					
	質量、重量	0.06					
	体積	0.06					
	部品点数	0.03					
	材料種別数	0.02					
	硬度	0.12					
	機械的寿命	0.09					
	消費エネルギー量	0.14					
	リサイクル材の使用率	0.00					
	騒音・振動・電磁波	0.12					
	有害物質量	0.02					
		総得点					
		相対的重要度					

(2) ステップ 2 ： EM とコンポーネントの関連度を決定

フェーズⅠのステップ 3 で定めた工学的尺度と、フェーズⅡのステップ 1 で定めたコンポーネントの間にある関連度を定める。ここでもフェーズⅠのステップ 4 と同様に、関連度を 4 種類にランクづけし、「関連性の大きいもの」を 9 、「関連性の中程度のもの」を 3 、「関連性の小さいもの」を 1 、「関連性のないもの」を 0 とする。ここでも、関連度とは一つのコンポーネントが変化したときに一つの工学的尺度の変化に及ぼす効果の大きさである。また、ここでもフェーズⅠのステップ 4 でつけた関連度と同様に、関連度のすべては整合性がなければならない。

中心的な参加者：設計部門からのメンバー

①テーブル上の操作

定められた関連度をフェーズⅡのマトリックスの部分に入力する。0の場合は特に入力する必要はない。

例えば、**表 4.2-9** のようになる。

■ 表 4.2-9　EM とコンポーネントの関連度の入力後のテーブル

	QFDE フェーズⅡ	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント				
			モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング
工学的尺度	空気流量	0.14	9	1	1	1	1
	空気の温度	0.15	3	3	9	1	1
	バランス（トルク）	0.05	9	3			9
	質量、重量	0.06	9	3	3	1	9
	体積	0.06	9	3	1	1	9
	部品点数	0.03	1	1		1	9
	材料種別数	0.02					9
	硬度	0.12					9
	機械的寿命	0.09	9	1	9	3	9
	消費エネルギー量	0.14	9	1	9		
	リサイクル材の使用率	0.00					9
	騒音・振動・電磁波	0.12	9	3			9
	有害物質量	0.02	9			3	1
		総得点	6.56	1.73	3.72	0.79	5.31
		相対的重要度	0.36	0.10	0.21	0.04	0.29

関連度を入力

②フェーズⅡで得られる結果

○総得点

総得点は各コンポーネントに対して得られる。「工学的尺度」の「相対的重要度」（フェーズⅠで得られたもの）と、各工学的尺度とコンポーネントの「関連度」の積を合計したものである。計算式は付録4を参照する。この値が大きいコンポーネントは、フェーズⅠのステップ1、ステップ2で定められた要求を満たすために重要であると判断できる。

例えば表 4.2-9 の例で「モーター」の総得点は次のように計算されている。

「空気流量」の相対的重要度 0.14　　　×関連性 9　(＝ 1.26)
＋「空気の温度」の相対的重要度 0.15　×関連性 3　(＝ 0.45)
⋮
＋「有害物質量」の相対的重要度 0.02　×関連性 9　(＝ 0.18)

総得点　6.56

○**相対的重要度**

各コンポーネントの総得点を総得点の合計値で割った値である。計算式は付録 4 を参照する。各コンポーネントの相対的重要度の合計が 1 となる。

例えば表 4.2-9 の例で「モーター」の相対的重要度は次のように計算されている。

総得点の合計＝ 6.56 ＋ 1.73 ＋…………＋ 5.31 ＝ 18.11
相対的重要度＝ 6.56 ÷ 18.11 ＝ 0.3622 ≒ 0.36

フェーズ I、フェーズ II では、(1)、(2) で定められた、対象製品に対する要求を満たすために、大きな影響を持つコンポーネントが特定される。したがって、対象製品を改善するためには、それらのコンポーネントを改良することが早道であるという指針が得られる。

特に、従来よりも環境側面を考慮することによって重要視する必要の生じたコンポーネントを把握したい場合には、**図 4.4-2** に示すようなフェーズ II のグラフを書くことによって把握できる。このグラフは、環境側面の要求 (VOC) や工学的尺度 (EM) を、扱わない場合 (QFD) と扱う場合 (QFDE) のおのおののコンポーネントの相対的重要度を比較しているため、環境指向によって注目の必要性の増加 (又は減少) したコンポーネントが分かる[注1]。両者の差は、根本的には環境側面の要求を扱うか否かに起因している。

(注 1) ここではステップ 2 における重要度の設定において、従来の顧客要求と環境側面の要求という二つのグループ間の重み付けが適切になされていることが前提となっています。

③フェーズⅡで得られる結果の解釈

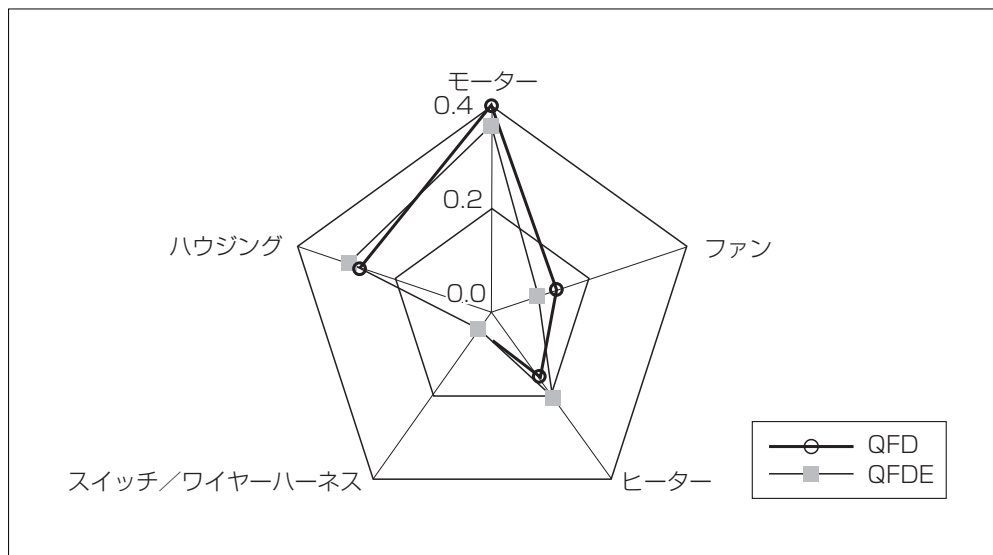
一般にフェーズ II で得られる結果の解釈としては以下にまとめられる。

- ○ 考慮した従来 VOC と環境 VOC の充足度合いに影響を及ぼす、対象製品内のコンポーネントの順位づけが得られる。
- ○ 考慮した環境 VOC を加えることによって生じる、コンポーネントの重要さの増減が得られる。これは、環境側面を考慮する際の一つの方向性を示唆するものとも考えられる。

例えば、フェーズ I、II の結果を図 4.2-2 のグラフにまとめると、以下のようなことが分かる。

○ 従来の要求に加えて環境側面の要求を考慮した場合にモーターというコンポーネントが相対的に最も重要であり、ハウジングが 2 番目である。

○ 環境指向性を持つことによって、モーターとファンは重要度は少し下がるが、ハウジング、ヒーターは重要度は少し上がる。

■ 図 4.2-2　環境側面の考慮の有無によるコンポーネントの重要度の違い

Q4　VOC 及び EM とコンポーネントの関連度を表すマトリックスの数値に主観が入ってしまうのではないだろうか？

A4　主観は入る。ここでは関連度に対して、例えば設計者が頭の中にもっている強弱を離散値として表現している。その数値が特定個人の偏見に左右されないために、DfE プロジェクトチーム内の複数の設計者が関連度に対して合意をとることが重要である。また、関連度の妥当性を高めるためにも、設計部門だけでなく、購買部門、製造部門、営業部門などからも DfE プロジェクトチームのメンバーを構成することが必要である。

一般的に設計の初期段階において、QFDE における関連度に相当するパラメータに対して客観的かつ正確な定量値を与えることは極めて困難である。QFDE はこの段階での意思決定を支援するツールである。DfE プロジェクトチームのメンバーの「総意」に関連度の値づけの根拠を求めている。

4.2.5 フェーズⅢ（改善案の考案）

(1) ステップ１：改善予算想定

Chapter4.2 で想定した本 DfE プロジェクトに投入する予算と必要なマンパワーの両者を考え、実際に改善にかけられる経済的コスト（費用）をプロジェクトマネージャーが設定する。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

①テーブル上の操作

なし。

(2) ステップ２：設計（改善）案の設定

フェーズⅢの**ステップ１**で定めた経済的コストを制約条件に、設計や生産のエンジニア等の知識を用いて、具体的な設計（改善）案を設定する。これは、ステップ１で定めた経済的コストの制約の下で、その時点で利用可能な素材、調達部品、設計や生産の技術の中から、実際に利用可能なものを選択することに相当する。複数の案を設定する方が望ましいが、設定可能な案が一つしかない場合には、一つでもかまわない。QFDE のフェーズⅡで出力として得られた、製品内の重要コンポーネントを参考にし、それらのコンポーネントを DfE の具体的な対象部分として優先的に検討すると、有効な設計（改善）が効率的に行える。

設定した各案に対しては、フェーズⅠのステップ３及びフェーズⅡのステップ１でおのおの定めた EM 及びコンポーネントの組み合わせのうち、その案によって改善されるものを選択する。

ヘアードライヤーの例でいえば、QFDE のフェーズⅡで出力として、「モーター」と「ハウジング」が重要なコンポーネントであることが判明したことを参考にして、以下の二つの案を設定したとする。

1) 案１：「モーター」を中心に改善を行う

調達部品及び設計技術の中から、モーターを中心とした電気周りに実際に利用可能なものがあったと想定している。本案によっては以下の三つの組み合わせが改善されるものとする。

- 「モーター」の「消費エネルギー量」
- 「モーター」の「騒音・振動・電磁波」
- 「ヒーター」の「消費エネルギー量」

2）案２：「ハウジング」を中心に改善を行う

素材及び生産技術の中から、ハウジングを中心とした筐体周りに実際に利用可能なものがあったと想定している。本案によっては、以下の四つの組み合わせが改善されるものとする。

・「ハウジング」の「質量、重量」
・「ハウジング」の「体積」
・「ハウジング」の「騒音・振動・電磁波」
・「ファン」の「質量、重量」

中心的な参加者：購買担当、設計部門、製造部門からのメンバー

①テーブル上の操作

ステップ 2 で設定した案それぞれについて以下の操作を行う。

a. フェーズⅢの表を作る。フォーマットの中身の値はフェーズⅡと同じものである。ただし、各 EM の関連度の合計を求め、記入しておく。以上ででき上がったテーブルの初期状態を**表 4.2-10** に示す。

例えば「空気流量」の関連度の合計は以下のように求められている。

モーター 9 ＋ファン 1 ＋ヒーター 1 ＋スイッチ 1 ＋ハウジング 1
＝ 13

b. 本ステップで改善がなされるとされた組み合わせの数値を残し、それ以外の部分の数値を削除する。さらに、表 4.4-9 と同様に各 EM の関連性の合計を求める。以上を利用して「工学的尺度の改善率」を求める。「工学的尺度の改善率」は本表の関連度の合計の、表 4.2-10 で求めた合計に対する比である。**表 4.2-11** 及び**表 4.2-12** に、先に説明した案 1 及び案 2 の入力結果をそれぞれ示す。

例えば表 4.4-10 の「消費エネルギー量」なる EM は以下の式により計算される。

18 ÷ 19 ＝ 0.9473 ≒ 0.95

■ 表 4.2-10　フェーズⅢのテーブルの初期状態

	QFDE フェーズⅢ	コンポーネント						
		モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング		工学的尺度の改善率
工学的尺度	空気流量	9	1	1	1	1	13	1.00
	空気の温度	3	3	9	1	1	17	1.00
	バランス（トルク）	9	3			9	21	1.00
	質量、重量	9	3	3	1	9	25	1.00
	体積	9	3	1	1	9	23	1.00
	部品点数	1	1		1	9	12	1.00
	材料種別数		1		1	9	12	1.00
	硬度					9	9	1.00
	機械的寿命	9	1	9	3	9	31	1.00
	消費エネルギー量	9	1	9			19	1.00
	リサイクル材の使用率					9	9	1.00
	騒音・振動・電磁波	9	3			9	21	1.00
	有害物質量	9			3	1	13	1.00

■ 表 4.2-11　案 1 の入力結果

	QFDE フェーズⅢ	コンポーネント						
		モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング		工学的尺度の改善率
工学的尺度	空気流量						0	0.00
	空気の温度						0	0.00
	バランス（トルク）						0	0.00
	質量、重量						0	0.00
	体積						0	0.00
	部品点数						0	0.00
	材料種別数						0	0.00
	硬度						0	0.00
	機械的寿命						0	0.00
	消費エネルギー量	9		9			18	0.95
	リサイクル材の使用率						0	0.00
	騒音・振動・電磁波	9					9	0.43
	有害物質量						0	0.00

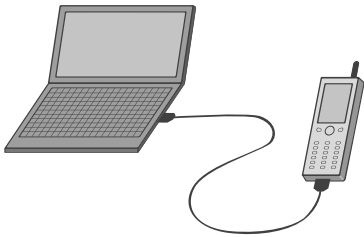
残した関連度 ⇩

■ 表 4.2-12　案 2 の入力結果

	QFDE フェーズⅢ	コンポーネント						
		モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング		工学的尺度の改善率
工学的尺度	空気流量						0	0.00
	空気の温度						0	0.00
	バランス（トルク）						0	0.00
	質量、重量		3			9	12	0.48
	体積					9	9	0.39
	部品点数						0	0.00
	材料種別数						0	0.00
	硬度						0	0.00
	機械的寿命						0	0.00
	消費エネルギー量						0	0.00
	リサイクル材の使用率						0	0.00
	騒音・振動・電磁波					9	9	0.43
	有害物質量						0	0.00

残した関連度 ⇩

Q5　フェーズⅢの各 EM の「工学的尺度の改善率」の絶対値（例えば「体積」の 0.39）はその変数の変化率そのものを表す（例えば「体積」が 39%減を表す）のか？

A5　いいえ。おのおのの工学的尺度の改善率の絶対値は必ずしも変化率を表さない。それは、フェーズⅢのステップ 2 で、改善の有無のみを判断し、改善の定量的な割合を判定していないのが主な理由である。

4.2.6 フェーズⅣ（改善案の評価）

(1) ステップ 1 ：設計（改善）案の評価

フェーズⅢの**ステップ 2** で設定した各案を評価する。具体的には、以下の手順を踏む。

○ 各案のおのおのの環境 VOC に対する改善率を求める。この際、フェーズⅠの**ステップ 4** で定めた VOC と EM の関連度を利用する。
○ 各環境 VOC の顧客重要度を利用して重みを付ける。
○ 上記 2 で得られた数値を足し合わせることによって、各案による環境 VOC の改善効果の合計値を求める。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

①テーブル上の操作

フェーズⅢの**ステップ 2** で設定した案それぞれについて、フェーズ Ⅳのテーブルを以下の手順で作成する。

○ フェーズ Ⅳの表を作る。フォーマットと数字の値はフェーズⅠとほぼ同じものである。
○ フェーズⅢで求めた EM の改善率を記入する。
○ 各環境 VOC に対して、EM との関連度と EM の改善率との積の和の、EM との関連度の和に対する比（a）を求める。
○ a と顧客重要度の積を求めて、「顧客要求に対する改善効果」（b）として記入する。
○ b の合計値を「改善効果の合計値」として右下のセル内に記入する。
○ 環境 VOC の「顧客要求に対する改善率」をグラフで表示する。顧客重要度をさらに考慮した「顧客要求に対する改善効果」をグラフで表示する。

ヘアードライヤーの例でいえば、案 1 及び案 2 でのフェーズ Ⅳのテーブルは**表 4.2-13** 及び**表 4.2-14** のようになる。また、案 1 の「顧客要求に対する改善率」及び「顧客要求に対する改善効果」のグラフは**図 4.2-3** 及び**図 4.2-4** のように、案 2 のものは**図 4.2-5** 及び**図 4.2-6** のようになる。

例えば表 4.2-13 で環境 VOC「加工・組み立てをしやすくしたい」の「顧客要求に対する改善率」0.47 は以下のように計算されている。

「部品点数」との関連度	9	× EM の改善率 0.00 ＝ 0	
＋「消費エネルギー量」との関連度	9	× EM の改善率 0.95 ＝ 8.55	
合計			8.55

8.55 ÷（「部品点数」との関連度 9
　　　　＋「消費エネルギー量」との関連度 9）＝ 0.475 ≒ 0.47

同様に環境 VOC「加工・組み立てをしやすくしたい」は以下のように計算されている。

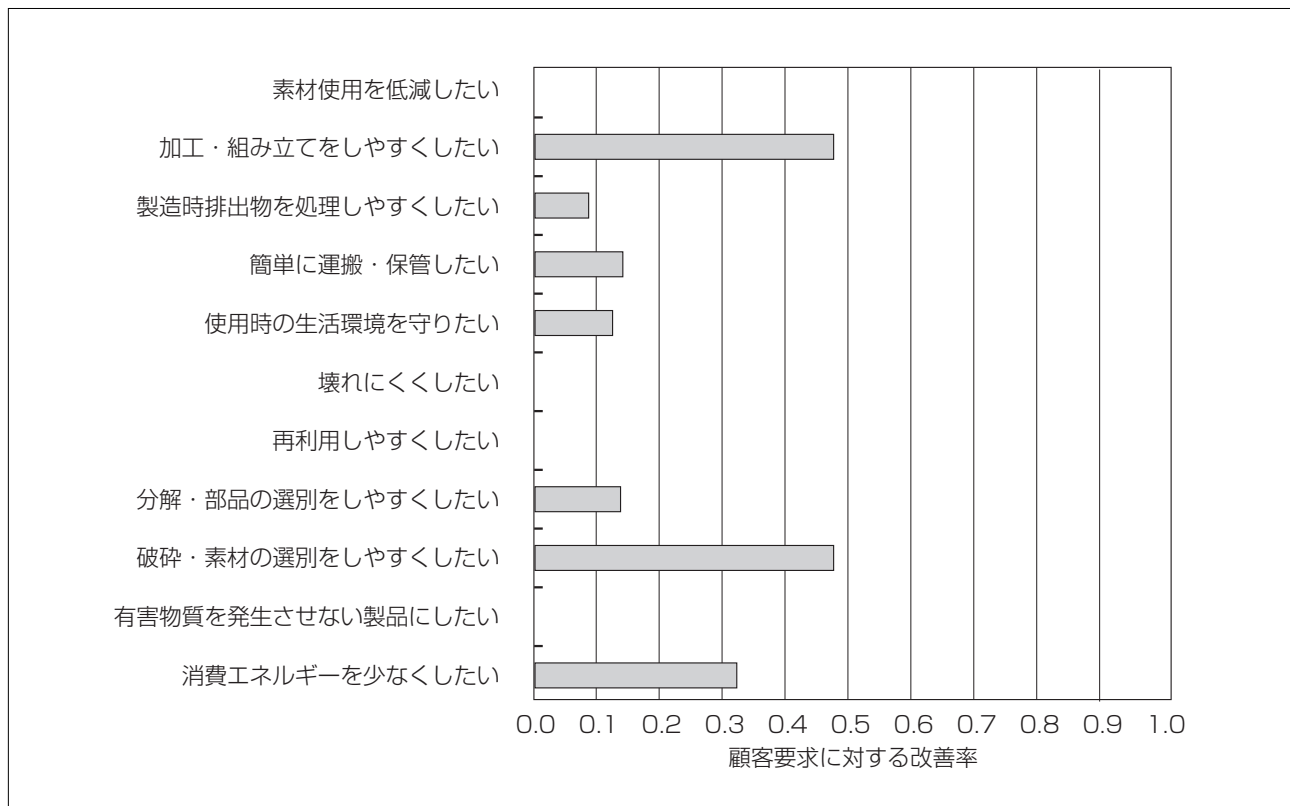
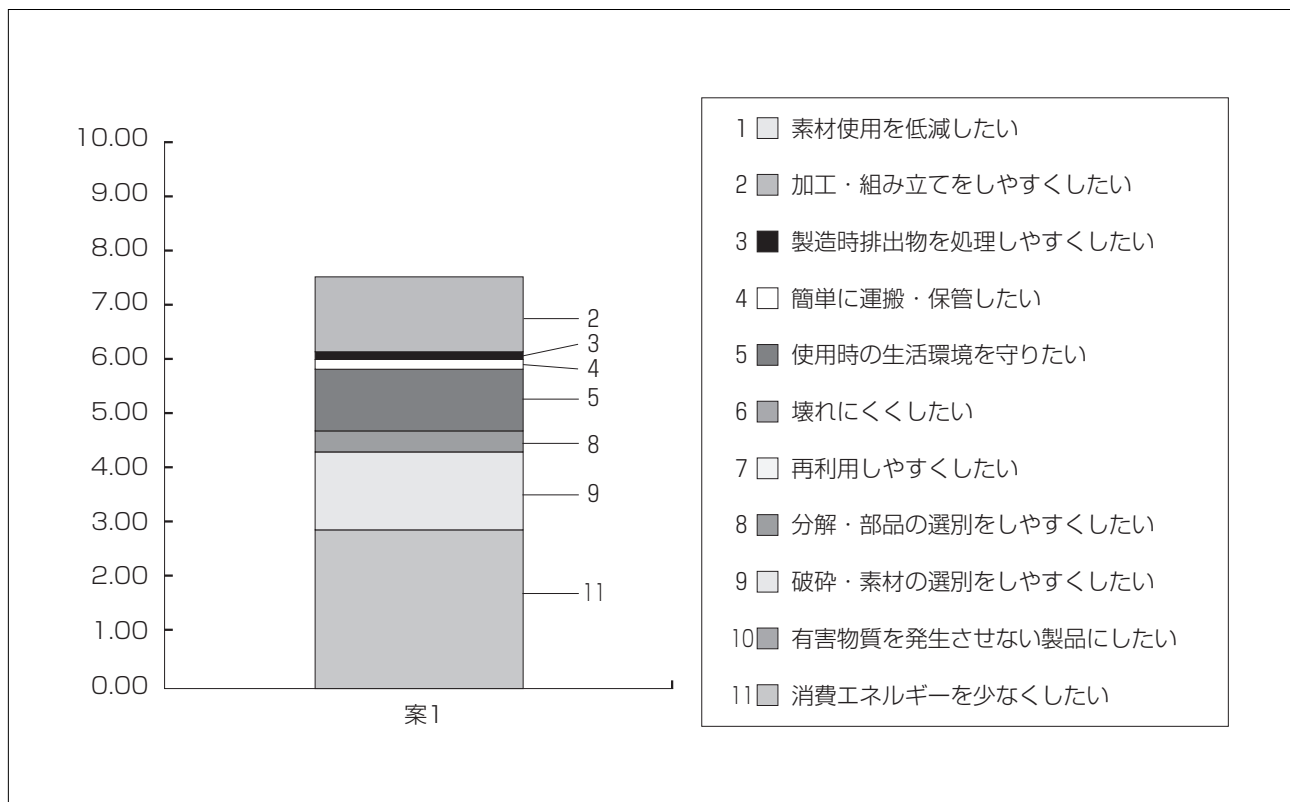
「顧客重要度」3 × VOC に対する改善率 0.475 ＝ 1.425 ≒ 1.42

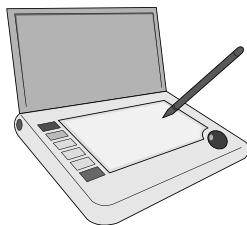
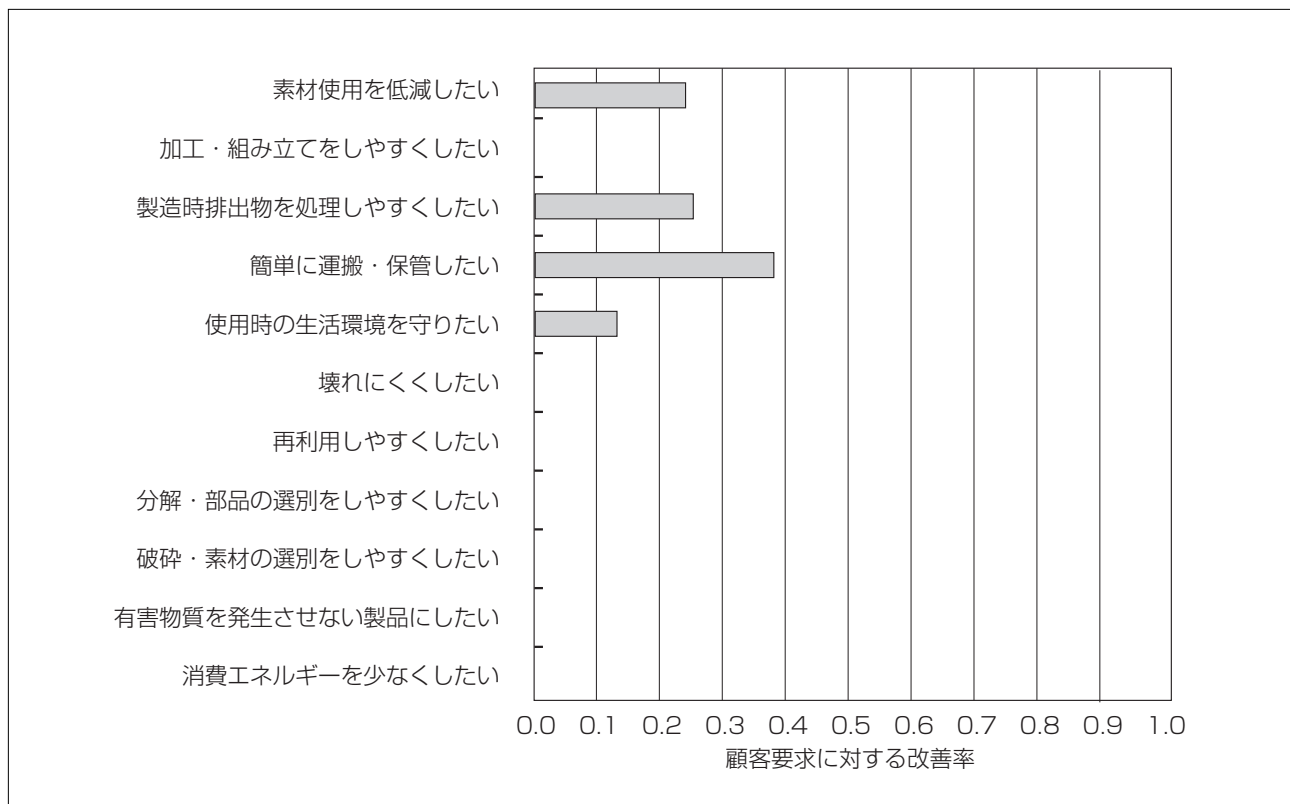
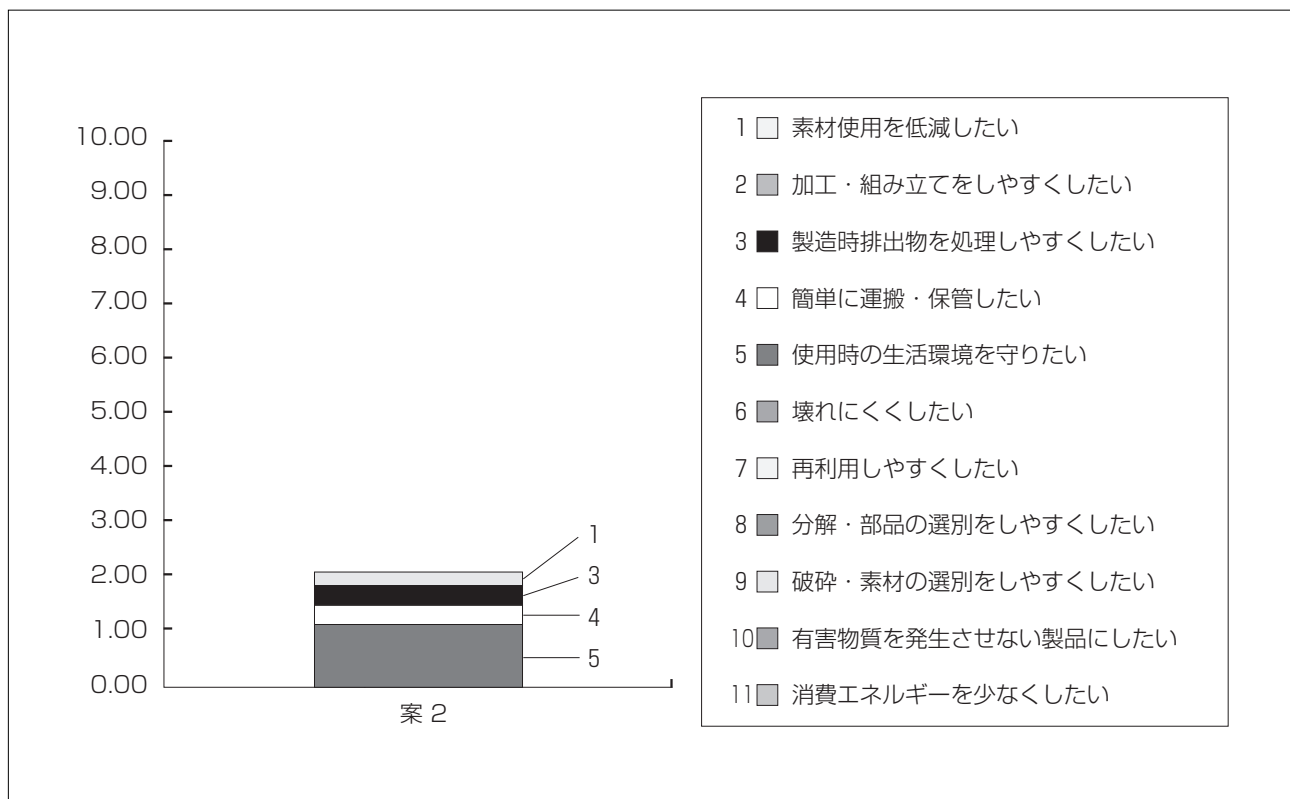
さらに、改善効果の合計は以下の式で計算されている。

0.00 ＋ 1.42 ＋ 0.09 ＋ 0.14 ＋…………＋ 2.84 ＝ 7.48

■ 表 4.2-13　案 1 のフェーズⅣのテーブル

	QFDE フェーズⅣ	顧客重要度	工学的尺度														
			空気流量	空気の温度	バランス（トルク）	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量	顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
顧客要求	早く乾かせる	9	9	9								9		9			
	静かに動作	3	9									9		9			
	安全に操作できる	3	1	9	3					3	9			9			
	操作が簡単	1			3	1								1			
	持ちやすい	9		1	9	9	9			9	3			1			
	信頼性が高い	3	1	1				3	3		9	1		1			
	ポータブルである	1				3	9										
	素材使用を低減したい	1				9	9	1	3				9			0.00	0.00
	加工・組み立てをしやすくしたい	3						9				9				0.47	1.42
	製造時排出物を処理しやすくしたい	1				9	9					3			9	0.09	0.09
	簡単に運搬・保管したい	1				9	9					3				0.14	0.14
	使用時の生活環境を守りたい	9	9	9						3				9		0.13	1.16
	壊れにくくしたい	9								9	9					0.00	0.00
	再利用しやすくしたい	1									9					0.00	0.00
	分解・部品の選別をしやすくしたい	3						9	9			3				0.14	0.41
	破砕・素材の選別をしやすくしたい	3								9		9				0.47	1.42
	有害物質を発生させない製品にしたい	3							3						9	0.00	0.00
	消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9								9				0.32	2.84
	工学的尺度の改善率	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.43	0.00		
	改善効果の合計値															1.76	7.48

■ 図 4.2-3　案 1 の環境 VOC に対する改善率

■ 図 4.2-4　案 1 の環境 VOC に対する改善効果

■ 表 4.2-14　案 2 のフェーズⅣのテーブル

	QFDE フェーズⅣ	顧客重要度	空気流量	空気の温度	バランス（トルク）	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量	顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
顧客要求	早く乾かせる	9	9	9								9		9			
	静かに動作	3	9									9		9			
	安全に操作できる	3	1	9	3					3	9			9			
	操作が簡単	1			3	1								1			
	持ちやすい	9		1	9	9	9			9	3			1			
	信頼性が高い	3	1	1				3	3		9	1		1			
	ポータブルである	1				3	9										
	素材使用を低減したい	1				9	9	1	3				9			0.25	0.25
	加工・組み立てをしやすくしたい	3						9				9				0.00	0.00
	製造時排出物を処理しやすくしたい	1				9	9					3			9	0.26	0.26
	簡単に運搬・保管したい	1				9	9					3				0.37	0.37
	使用時の生活環境を守りたい	9	9	9										9		0.13	1.16
	壊れにくくしたい	9								9	9					0.00	0.00
	再利用しやすくしたい	1								9	9					0.00	0.00
	分解・部品の選別をしやすくしたい	3										3				0.00	0.00
	破砕・素材の選別をしやすくしたい	3							9			9				0.00	0.00
	有害物質を発生させない製品にしたい	3						9		9					9	0.00	0.00
	消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9								9				0.00	0.00
	工学的尺度の改善率	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00		
	改善効果の合計値															1.02	2.04

■ 図 4.2-5　案 2 の環境 VOC に対する改善率

■ 図 4.2-6　案 2 の環境 VOC に対する改善効果

(2) ステップ 2 ：案の選択

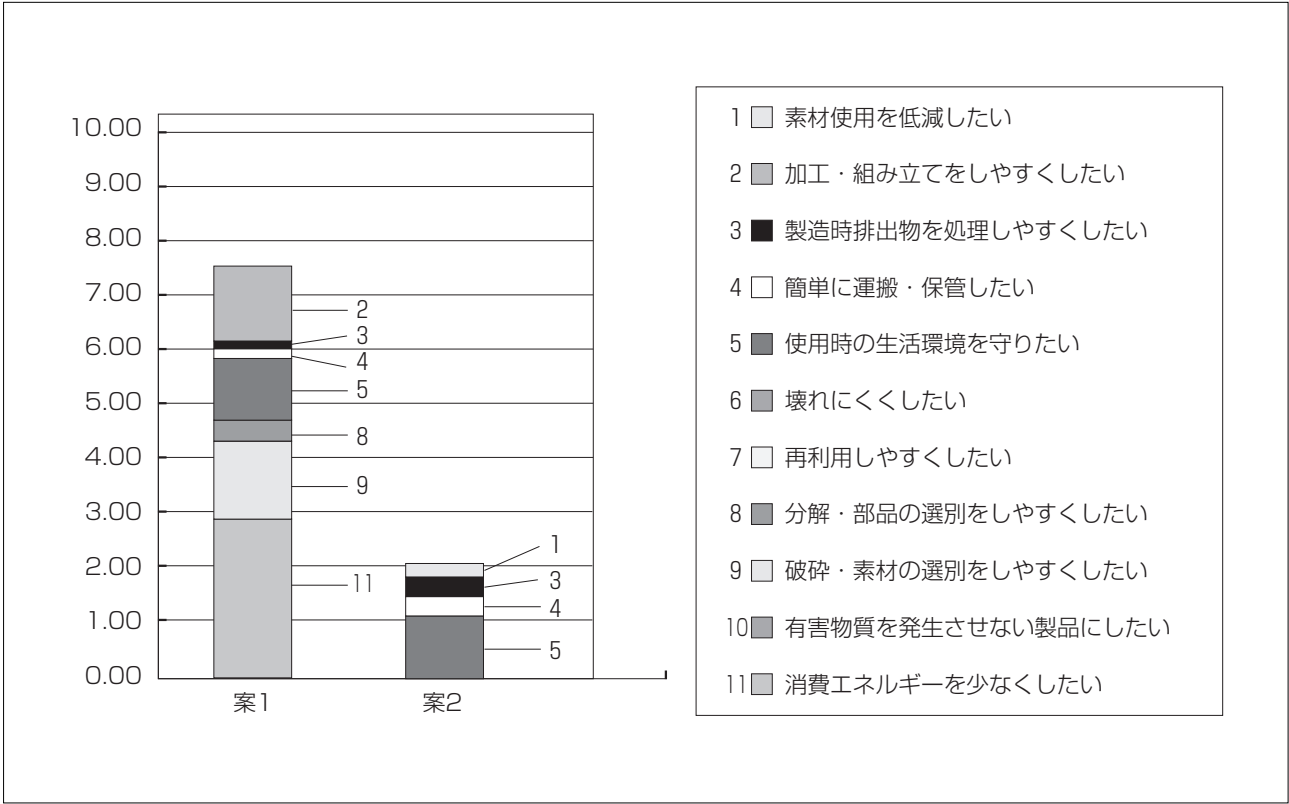
設定した案のうち、おのおのに対して求めた改善効果の合計値を比較して、最大のものを最も有効な案として選択する（**図 4.2-7**）。

ヘアードライヤーの例では、案 1 が 7.48、案 2 が 2.04 であるため、案 1 がベストの設計（改善）案と決定する。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

①テーブル上の操作

なし。

■ 図 4.2-7　案 1 と案 2 の環境 VOC に対する改善効果の合計値の比較

Q6 環境 VOC だけを扱う場合にも、従来 EM を扱う必要はあるのだろうか？

A6 はい。フェーズⅠとⅡを行う場合、フェーズⅣまでを行う場合、ともに環境 VOC だけを考慮していても、従来 EM を扱う必要はある。なぜなら、環境 VOC の中には、従来 EM との関連性を通じてコンポーネントへの関連性をもっているものがあるからである。

Q7 改善案によって必要なプロジェクト投入コストが異なる場合、フェーズⅣステップ 2 の案の選択はどうすればよいだろうか？

A7 フェーズⅣステップ 1 の結果、投入コストがより小さくて、「改善効果の合計値」がより大きい改善案があれば、もちろんそれを選択する。問題は投入コストがより大きくて、「改善効果の合計値」がより大きい改善案がある場合である。その場合の対処方法は本書の範囲を越えており、各企業の判断によるところと考えている。具体的には、許容できる投入コストの絶対値と、期待される効果などを考慮して判断するべきと考えている。

4.2.7 まとめ

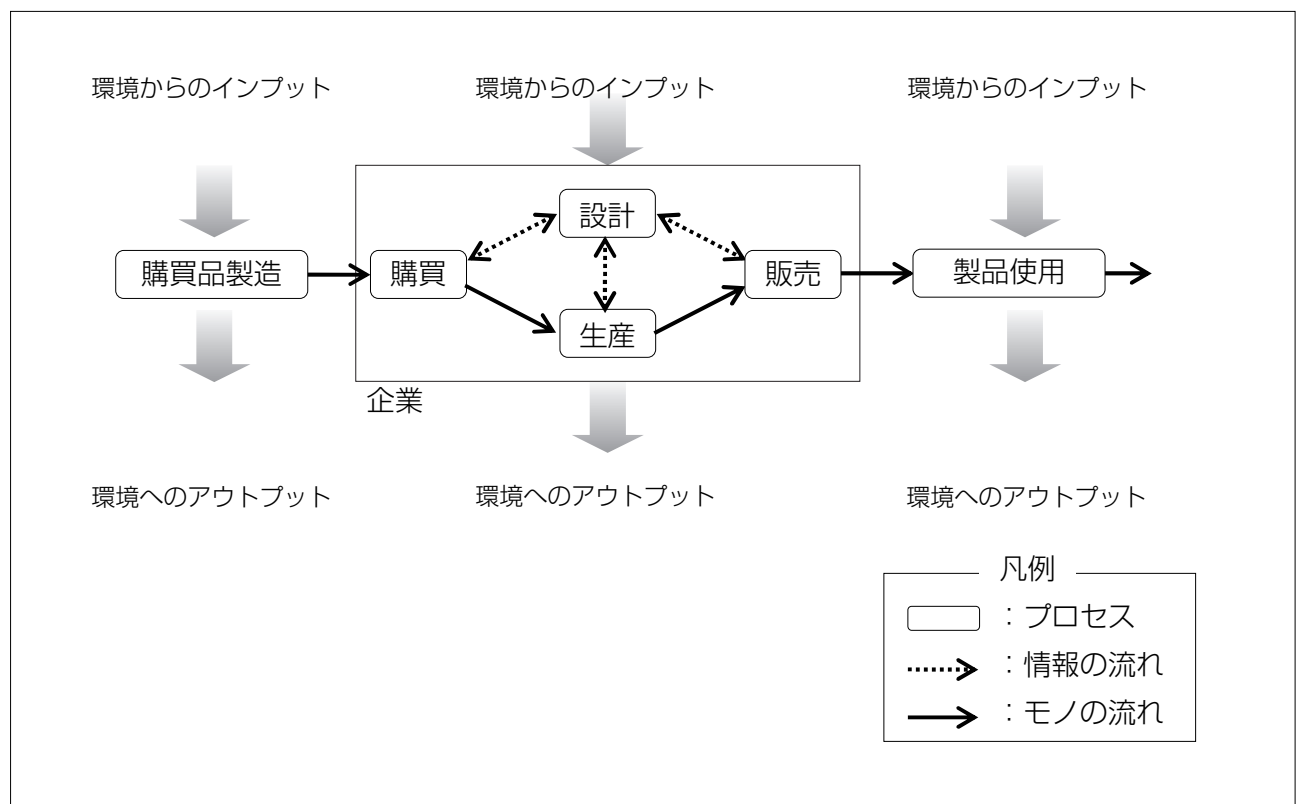
以上で、環境調和型製品企画の説明を終わる。この手法では、社内の各部門の代表者で構成したグループがさまざまな情報を提供し、意思決定を行っていき、環境側面の重要なコンポーネントや有効な設計（改善）案を特定することができる。

この製品企画では、プロジェクトへ投入するコストを前提とした上で、環境へ適切に対処しつつ、よりよい設計案を選択することになっている。

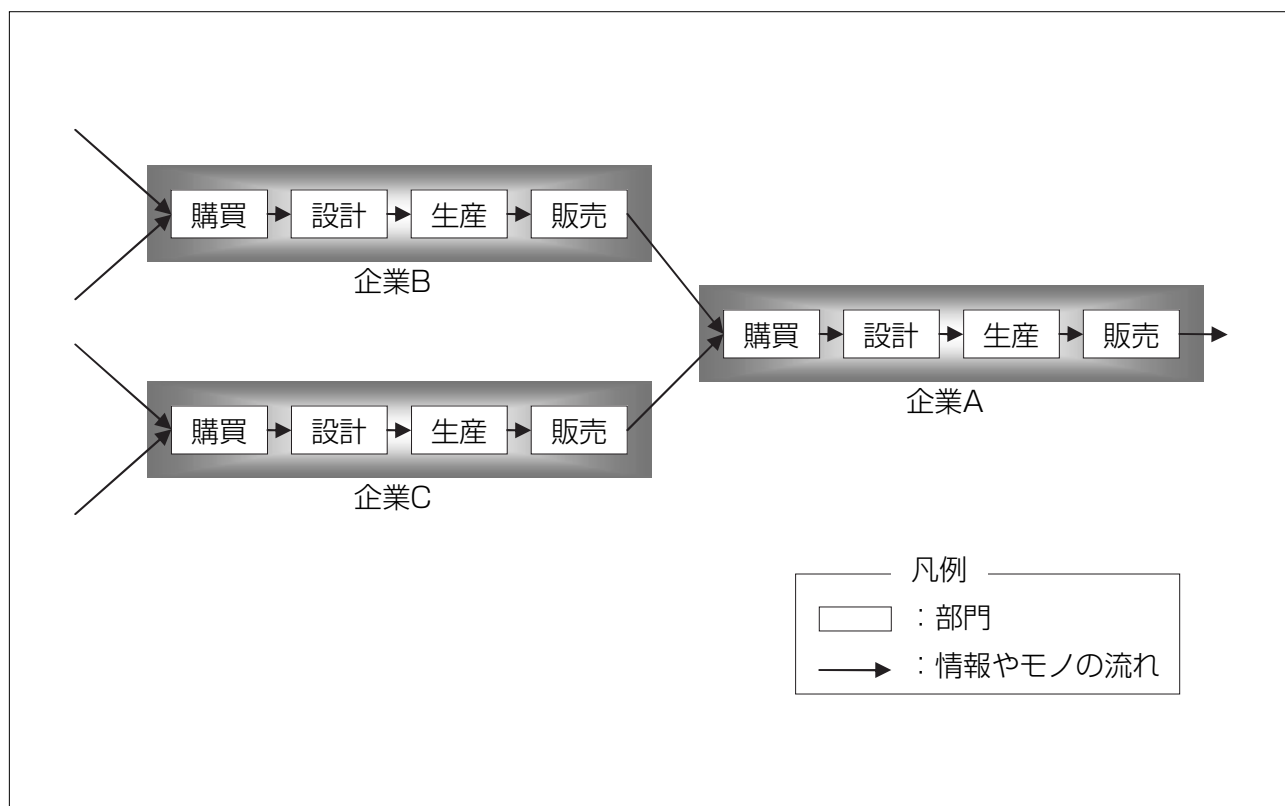
4.3 QFDE を用いた環境調和型製品企画の他部門への拡張

4.3.1 なぜ他部門への拡張が必要なのか？

製品を開発している企業には、設計だけでなく、購買、生産、販売などの部門が存在し、各部門が各々の業務プロセスを実施している。各業務プロセスにおいて決定されたことがらが次のプロセスに引き継がれていく（**図 4.3-1 参照**）。一方、製品のライフサイクルに沿った環境影響は該当企業自身や上流・下流において発生するが、環境影響の大きさは設計プロセスで決められる情報だけでは決まらない。設計以外のプロセスにおいて、設計以外の部門が決定する情報も影響を与える。確かに、製品開発において設計プロセスにおいて決められる情報が、製品ライフサイクルの環境影響を決める主要な要因であると言えるだろうが、その他も無視出来るほど小さい訳ではない。

■ 図 4.3-1　企業内での設計プロセスと製品ライフサイクルの環境影響の位置付け

（注 1）この図は、企業の販売と購買の部門の関係、企業間の関係を説明するためのものであり、購買、設計、生産、販売の各部門の間の情報とモノの流れは簡素化して記している。実際にはシーケンシャルな流れだけではない。

例えば、日本の製造メーカは特に、多くの部品を外注している。例えば、日本の自動車メーカーの部品内製率はわずか 30 %で、欧米の自動車メーカーに比べても外注比率が高いと言われている。つまり、**図 4.3-2** に示すように[注 1]、企業 A は少なからぬ割合の部品を得るために、購買部門を通じてサプライヤである企業 B や企業 C に要求を伝え、企業 B や企業 C は受け取ったその要求を基に納入品を設計開発する訳である。よって、企業 A がより効果的に環境調和型の製品を開発するためには、購買部門に環境調和型製品を開発する活動に参画してもらうことが不可欠なのである。

■ 図 4.3-2　製造業のサプライチェーンと企業内の各部門

以上から、環境調和型の製品を開発するためには、設計部門だけではなく、その他の部門も含めた全社的な活動が必要になってくる。

4.3.2 他部門への拡張で得られるもの

他部門への拡張により、設計部門だけで行なう環境調和型製品設計に比べて、追加的に得られるものを具体的に説明する。

①製品開発に関わる自社内の活動全体の最適化に資することが出来る

製品に起因する環境影響は設計行為だけで決まる訳ではない。外注する部品の環境調和性にもよるし、生産ラインの構成などによっても左右される。本テキストで説明する環境調和型製品開発では、全部門用 QFDE によって､製品開発に関わる自社内の全部門の活動を包括的に把握した上で、各々の要素の重要性を得る。この情報を製品開発に関わる自社内の活動全体の最適化に用いることが出来る。

②製品開発の環境調和性向上の対策の主体を明らかにすることが出来る

全部門用 QFDE では、製品開発において自社が決める変数（決めることの出来る変数、つまり設計変数）を列挙した上で、各変数はどの部門が決定するものなのかを明示している。環境調和性を向上するための対策もこれらの設計変数を参照する形で表現されるので、これによって各対策の実施主体も自ずと示されることになる。

③設計以外の部門が製品開発の環境調和性に関する指針を得ることが出来る

①と②で述べたように、全部門用 QFDE では自社の全活動を包括的に捉えた上で環境側面から重要な要因を半定量的に特定し、各部門が取るべき改善活動の指針を導く。全社的な視点がない場合には、各部門に閉じた視野の中での対策となり必ずしも有効なものではない可能性がある。それに対して全部門用 QFDE を用いれば、各部門が何を実施すれば全体として何にどの程度の効果があるかを具体的に把握することが出来る。

④サプライチェーンを通じて社会の環境負荷を低減することが出来る

環境調和型製品開発には調達部門も参加するが、調達する部品の環境調和性を高めることが調達部門の改善オプションになる。これは即上流のサプライヤへ、顧客要求として伝えられる。これは社会全体として見れば環境負荷を低減するドライビングフォースになるが、企業としてもより広い範囲で自身の社会的な責任を果たしていることになる。現在日本の製造業は外部から部品を調達している割合が低くないため、相当の効果があると考えられる。

上記 4 項目で説明した事柄に共通する点は、本プロジェクトに参加する人の間での問題、知識や情報の共有化が基になっている点である。①から③は会社内の異なる部門間での共有に相当するし、④はむしろ社会の異なる会社間での共有とも理解できるだろう。ここで達成される共有化は、QFD がそもそも有する特長に起因する部分が大きいことを付け加えておく。

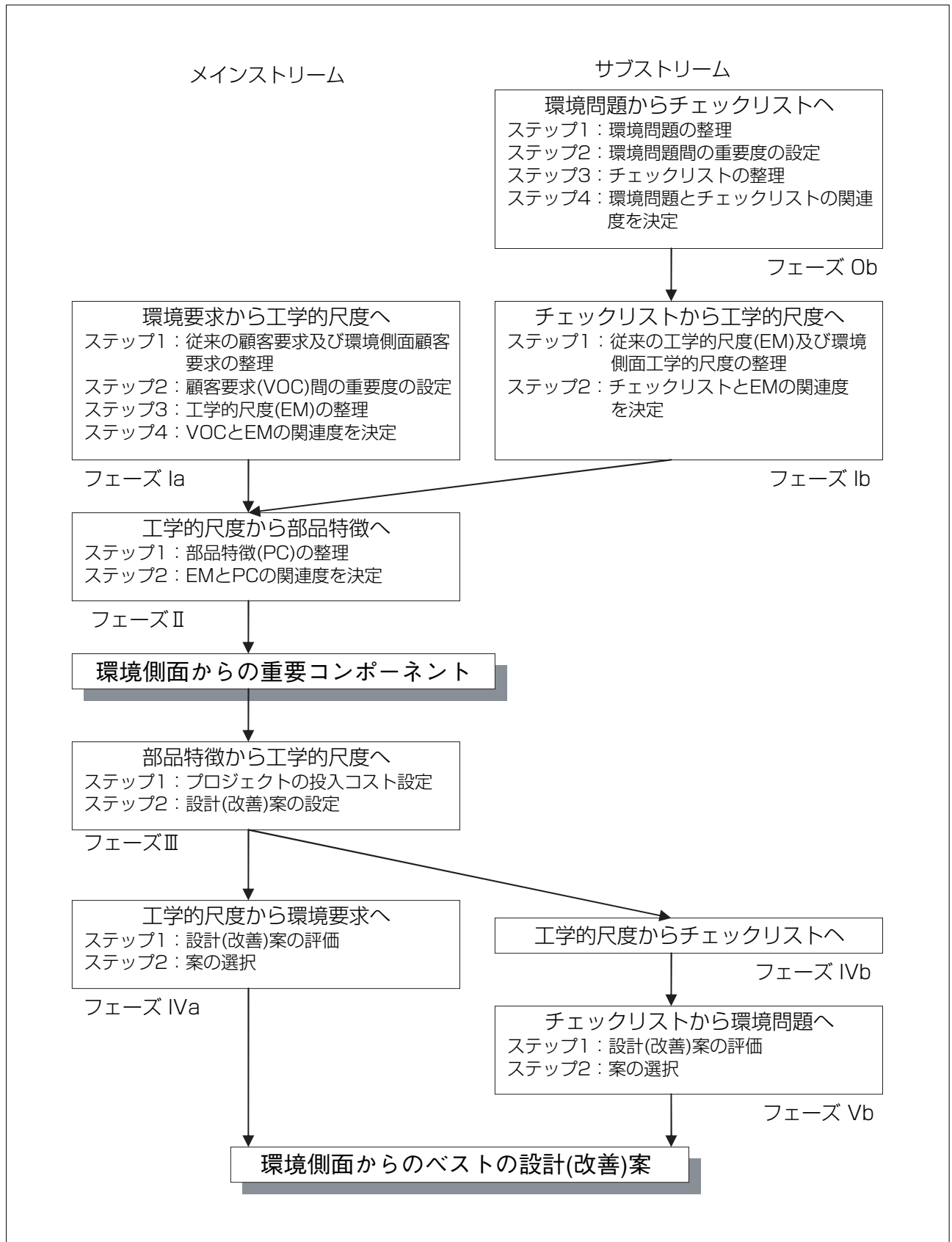
4.3.3 全体の流れ

プロジェクトの対象製品を選定した後に図 4.3-3 に示した流れに従って全部門用 QFDE を実施する。全部門用 QFDE のメインストリームは 4 つのフェーズに分かれており、各フェーズは 2 つ又は 4 つのステップで構成されている。フェーズ Ia とフェーズ Ⅱ を行うことによって、対象製品の環境側面からの重要なコンポーネントを特定することが出来る。続けてフェーズ Ⅲ とフェーズ IVa を行うことによって、実際の設計（改善）案の中から環境側面でベストの案を決定することが出来る。メインストリームは設計部門用 QFDE の対象部門を拡張したものに相当する。

もし環境要求を列挙することが難しい場合には、図 4.3-3 の右側に記したサブストリームに従うのが良いだろう。大きな問題として社会的に認知されている環境問題やデザインレビューで各社が整備しているであろう DfE チェックリストを使うことで、環境要求を列挙することを代用する。しかしながら、DfE チェックリストに挙げられる項目は通常、従来の顧客要求（品質側面の顧客要求）と同じレベルのものではないため、サブストリームに従う場合は従来の顧客要求を併せて検討することは難しい。このため、メインストリームに従うことを勧める。

全部門用 QFDE で利用する表をこれ以降では「テーブル」と呼ぶことにする。

なお、4.3 で手順を説明していく際には、4.2 と同様ヘアードライヤーを対象製品の例題として採用する。

■ 図 4.3-3　全部門用 QFDE を使用した環境調和型製品企画の流れ

4.3.4 全部門用 QFDE でのプロジェクトメンバーの役割

全部門用 QFDE でのプロジェクトメンバー、各メンバーの主な役割、主な参加フェーズは**表 4.3-1** にまとめられる。設計部門用 QFDE と大きく異なる点は、設計担当以外の参加者が全部門用 QFDE においては主な役割が増えている点である。

（注 3）簡便のためフェーズ番号の a, b は省略している。

■ 表 4.3-1　全部門用 QFDE でのプロジェクトメンバーの役割

参加者	主な役割	QFDE での主な参加フェーズ（注 3）
プロジェクトマネジャー	● 全工程における全体管理 ● 最終的な意思決定 ● 製品への要求項目の間の重要度の設定 ● DfE プロジェクトの投入コスト設定 ● 設計(改善)案の設定 ● 設計(改善)案の評価	0, Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ
営業(サービス)担当	● 製品への要求の従来項目提示	Ⅰ
環境担当 （品質担当）	● 製品への要求の環境側面項目の提示 ● 製品の環境側面の属性の提示 ● 製品への要求項目と製品の属性の関連度を提示	0, Ⅰ, Ⅲ
設計担当 製造担当 購買担当 配送担当 他	● 製品の属性の提示 ● 製品への要求項目と製品の属性の関連度を提示 ● 製品内のコンポーネントの整理 ● 製品の属性と製品内のコンポーネントの関連度を提示 ● 製品内のコンポーネントの変更可能性を提示	0, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ

4.3.5 メインストリームの手順

(1) フェーズ Ⅰa（顧客要求から工学的尺度への展開）

ステップ 1 ：従来 VOC、環境 VOC の整理

①従来 VOC の収集

ここでは、設計部門用 QFDE で説明したのと同じ手順を踏む。

中心的な参加者：営業（サービス）部門からのメンバー

②環境 VOC の収集

ここでも、設計部門用 QFDE で説明したのと同じように次の手順を踏む。

つまり、対象製品が地球環境に与える影響を考慮して、それらの影響を小さくするための要求を収集する。例えば、リサイクル性を向上させるために「分解しやすくしたい」という要求や、地球温暖化を防止することを考慮して「消費エネルギーを少なくしたい」という要求などが挙げられるだろう。

この作業は（1）の作業のように、実際に消費者やユーザーといった、要求を発する人が実際にいるわけではないため、「環境」が発するであろう要求として、本プロジェクトチームが考えたことを収集することになる。

環境側面要求の収集、整理の一つの方法は、製品のライフサイクルステージに沿ってチェック項目を洗い出した後に要求項目に統合するという方法である。ライフサイクルのステージの各々には、環境側面を考慮した場合にチェックすべき項目があるはずであるので、それらを一旦網羅的に洗い出した後に、類似の項目を集約していくのである。異なるライフステージにおいても類似のチェック項目がある場合が多いため、集約することが出来る。例えば、材料調達のステージ、生産のステージの双方に「資源の投入量を少なくする」という意味のチェック項目がある場合には、「資源の利用を低減したい」というような要求項目にまとめることが出来るだろう。

さらに、付録に載せてあるリストをそのまま採用するという方法もある。このリストは、いわゆる環境問題への影響を低減するために製品がどのようなことを満たせばよいかをおおよそ漏れなく集約したものになっていて、これ以降では環境 VOC の「デフォルトリスト」と呼ぶ。

中心的な参加者：環境部門からのメンバー

③ 2 つの要求の整理

ここでも、設計部門用 QFDE で説明したのと同じ手順を踏む。

テーブル上の操作

入力するテーブル（フェーズ Ia の表）を**表 4.3-2** に示す。**表 4.3-2** では、環境 VOC のデフォルトリストだけが予め入力されている。③で得られた要求を表 4.3-2 の左列、VOC の欄に入力する。

■ 表 4.3-2　フェーズ Ia の入力テーブル

EM / VOC	重要度	設計部門														購買部門				生産部門				配送部門		
素材使用を低減したい																										
加工・組み立てをしやすくしたい																										
製造時排出物を処理しやすくしたい																										
簡単に運搬・保管したい																										
使用時の生活環境を守りたい																										
壊れ難くしたい																										
再利用しやすくしたい																										
分解・部品の選別をしやすくしたい																										
破砕・素材の選別をしやすくしたい																										
有害物質を発生させない製品にしたい																										
消費エネルギーを少なくしたい																										
総得点		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相対的重要度（部門内）																										
相対的重要度（全社内）																										

ステップ 2：顧客重要度の決定

ここでも、設計門用 QFDE で説明したのと同じ手順を踏む。

また、この重み付けは製品開発全体に関わる非常に重要なことである。幾ら環境負荷の小さい製品を開発しても市場性が全く無ければ、製品開発としては失敗に終わるわけである。ただし、重み付けを与える方法については本テキストでは触れない。この方法は各社の製品開発方針に大きく依存するところと考えるからである。

テーブル上の操作

この値をフェーズ Ia の顧客重要度の欄に入れる。例えば、**表 4.3-3** のようになる。

■ 表 4.3-3　顧客重要度の入力後のテーブル

EM / VOC	重要度	設計部門														購買部門				生産部門				配送部門		
早く乾かせる	9																									
静かに動作	3																									
安全に操作できる	3																									
操作が簡単	1																									
持ちやすい	9																									
信頼性が高い	3																									
ポータブルである	1																									
素材使用を低減したい	1																									
加工・組み立てをしやすくしたい	3																									
製造時排出物を処理しやすくしたい	1																									
簡単に運搬・保管したい	1																									
使用時の生活環境を守りたい	9																									
壊れ難くしたい	9																									
再利用しやすくしたい	1																									
分解・部品の選別をしやすくしたい	3																									
破砕・素材の選別をしやすくしたい	3																									
有害物質を発生させない製品にしたい	3																									
消費エネルギーを少なくしたい	9																									
総得点		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相対的重要度（部門内）																										
相対的重要度（全社内）																										

ステップ3　EM（工学的尺度）の整理

本ステップは設計門用 QFDE と異なる。

対象とする製品自体だけではなく、製品開発を特徴付ける様々な属性を整理する。属性とは対象を表現するための変数で、特性とも言える。ここでは、値を客観的に特定できるもの、すなわち計測可能なものだけを扱う。その意味で「工学的尺度(Engineering Metrics, EM)」と呼んでいる。ただし、ステップ1で定めた要求のいずれにも影響を及ぼさないものは削除する。

属性は参加している部門別に整理する。例えば、設計、購買、製造、配送部門のように分けて整理する。購買部門の EM には、購買品の属性が含まれるだろうし、製造部門には製造ラインの属性が含まれるだろう。手順としてはステップ1と同様に、まず列挙した後に集約する。

要求と同様に、環境 EM が特定出来ないという場合は、付録に載せてあるリストを参考にするという方法もある。このリストは、いわゆる環境問題への影響に関連する製品の属性として関連するものをおおよそ漏れなく集約したものになっている。全部門用 QFDE においては、設計部門の EM に相当することに留意する。

中心的な参加者：各部門からのメンバー

テーブル上の操作

定められた工学的尺度を表 4.3-3 の上行、フェーズ Ia の工学的尺度の欄に入力する。

例えば、**表 4.3-4** のようになる。

■ 表 4.3-4　工学的尺度の入力後のテーブル

VOC＼EM	重要度	設計部門														購買部門				生産部門				配送部門		
		空気流量	空気の温度	バランス(トルク)	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量
早く乾かせる	9																									
静かに動作	3																									
安全に操作できる	3																									
操作が簡単	1																									
持ちやすい	9																									
信頼性が高い	3																									
ポータブルである	1																									
素材使用を低減したい	1																									
加工・組み立てをしやすくしたい	3																									
製造時排出物を処理しやすくしたい	1																									
簡単に運搬・保管したい	1																									
使用時の生活環境を守りたい	9																									
壊れ難くしたい	9																									
再利用しやすくしたい	1																									
分解・部品の選別をしやすくしたい	3																									
破砕・素材の選別をしやすくしたい	3																									
有害物質を発生させない製品にしたい	3																									
消費エネルギーを少なくしたい	9																									
総得点		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相対的重要度（部門内）																										
相対的重要度（全社内）																										

ステップ 4 ： VOC と EM の関連度を決定

ここでも、設計門用 QFDE で説明したのと同じ手順を踏む。

中心的な参加者：各部門からのメンバー

テーブル上の操作

定められた関連度をフェーズ Ia のマトリックスの部分に入力する。0 の場合は特に入力する必要はない。

例えば、**表 4.3-5** のようになる。

■ 表 4.3-5　VOC と EM の関連度の入力後のテーブル

VOC ＼ EM	重要度	設計部門														購買部門				生産部門				配送部門		
		空気流量	空気の温度	バランス(トルク)	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量
早く乾かせる	9	9	9								9		9													
静かに動作	3	9									9		9													
安全に操作できる	3	1	9	3					3	9			9													
操作が簡単	1			3	1								1													
持ちやすい	9		1	9	9	9			9	3			1													
信頼性が高い	3	1	1				3	3		9	1		1													
ポータブルである	1				3	9																				
素材使用を低減したい	1				9	9	1	3				9														
加工・組み立てをしやすくしたい	3						9				9															
製造時排出物を処理しやすくしたい	1				9	9					3				9							9	3			
簡単に運搬・保管したい	1				9	9					3															
使用時の生活環境を守りたい	9	9	9						3				9													
壊れ難くしたい	9								9	9																
再利用しやすくしたい	1									9																
分解・部品の選別をしやすくしたい	3						9	9			3															
破砕・素材の選別をしやすくしたい	3								9		9															
有害物質を発生させない製品にしたい	3							3							9			9				9			9	
消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9								9					9				9				9		
総得点		276	282	93	112	117	64	48	225	171	261	9	229	0	36	81	0	27	0	81	0	36	3	81	27	0
相対的重要度（部門内）		0.14	0.15	0.05	0.06	0.06	0.03	0.02	0.12	0.09	0.14	0.00	0.12	0.00	0.02	0.75	0.00	0.25	0.00	0.68	0.00	0.30	0.03	0.75	0.25	0.00
相対的重要度（全社内）		0.12	0.12	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.10	0.08	0.12	0.00	0.10	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.04	0.01	0.00

フェーズⅠで得られる結果

以上で示したフェーズIaで得られる結果を以下にまとめる。ただし、フェーズ0b、フェーズIbに従った場合でも同じ項目の結果が得られる。

1．総得点

総得点は各EMに対して得られる。各工学的尺度に関連した、顧客の重要度と、その「関連度」の積を合計したものである。この値が大きい工学的尺度は、ステップ１、２で定められた要求を満たすために重要であると判断できる。

テーブル上ではフェーズⅠの表の下から3行目に記す。

2．相対的重要度（部門内）

各工学的尺度の総得点を各部門の総得点の合計値で割った値である。各部門で工学的尺度の総得点の合計が1となる。この値は、各部門内での該当工学的尺度の重要さを表す。

テーブル上ではフェーズⅠの表の下から2行目に記す。

ドライヤーの例では、設計部門では「使用時の消費エネルギー量」、購買部門では「購買品の製造時の消費エネルギー量」、生産部門では「製造時の消費エネルギー量」、配送部門では「配送・回送時の消費エネルギー量」が最も重要であるという結果になっている（**表4.3-6参照**）。

3．相対的重要度（全社内）

各工学的尺度の総得点を全部門の総得点の合計値で割った値である。全ての工学的尺度の総得点の合計が1となる。この値は、全社内での該当工学的尺度の重要さを表す。

テーブル上ではフェーズⅠの表の一番下の行に記す。

全社内では、「使用時の消費エネルギー量」「硬度」「機械的寿命」という順に重要度があるという結果になっている（表4.3-6参照）。

(2) フェーズⅡ（工学的尺度からコンポーネントへの展開）

工学的尺度からコンポーネントへの展開

本ステップは設計門用 QFDE と同様のプロセスである。ただし、フェーズ Ia、Ib でも示した展開と同様に、前フェーズで抽出された工学的尺度を各部門の部品特徴へ展開する点が異なる。具体的には次の 2 つのステップを踏む。

ステップ 1 ： PC（コンポーネント）の整理

対象製品の開発に関連するコンポーネントを整理する。ここでコンポーネントとは、対象製品自身の機能部品としてのまとまりだけでなく、対象製品を開発するための機能的要素としてのまとまりも含む。前者は設計部門用 QFDE で扱ったものと同等であるが、後者は扱わなかったものである。後者の具体例としては、生産活動に関連した設備などが挙げられる。これに関しても、まずは列挙した後に集約する。他部門との重複を許す形で行う。

中心的な参加者：各部門からのメンバー

テーブル上の操作

ここで使用するテーブルはフェーズⅡのテーブル（**表 4.3-6**）である。

■ 表 4.3-6　フェーズ II の入力テーブル

EM ＼ PC		相対的重要度(部門内)	設計部門						購買部門					生産部門		配送部門	
設計部門	空気流量	0.14															
	空気の温度	0.15															
	バランス(トルク)	0.05															
	質量、重量	0.06															
	体積	0.06															
	部品点数	0.03															
	材料種別数	0.02															
	硬度	0.12															
	機械的寿命	0.09															
	使用時の消費エネルギー量	0.14															
	リサイクル材の使用率	0.00															
	騒音・振動・電磁波	0.12															
	製品に含まれる有害物質量	0.00															
	使用時の廃棄物排出量	0.02															
購買部門	購買品の製造時の消費エネルギー量	0.75															
	購買品の製造時の有害物質使用量	0.00															
	購買品の製造時の廃棄物排出量	0.25															
	購買品のリサイクル材の使用率	0.00															
生産部門	製造時の消費エネルギー量	0.68															
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	0.00															
	製造時の有害物質使用量	0.30															
	製造時の廃棄物排出量	0.03															
配送部門	配送・回収時の消費エネルギー量	0.75															
	配送・回収時の有害物質排出量	0.25															
	配送・回収時の廃棄物排出量	0.00															
総得点			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
相対的重要度（部門内）																	
相対的重要度（全社内）																	

ドライヤーの例を用いてコンポーネントを整理する。例えば、設計部門のものを「モーター」、「ファン」、「ヒーター」、「スイッチ/ワイヤーハーネス」、「ハウジング」、「梱包材」とする。購買部門のものを「モーター」、「ファン」、「ヒーター」、「スイッチ/ワイヤーハーネス」、「ハウジング材料」とする。「モーター」などが設計、購買の両部門に表れているのは、同じ「モーター」でも部門によってコンポーネントとして見ているものが異なるからである。

ステップ 2 ： EM と PC の関連度を決定

前フェーズで定めた工学的尺度とフェーズⅡのステップ 1 で定めたコンポーネントの間にある関連度を定める。EM と PC の間の関連性については、各部門内で関連性を決定する。ここでもフェーズ Ia のステップ 4 と同様に、関連度を 4 種類にランク付けし、「関連性の大きいもの」を 9 、「関連性の中程度のもの」を 3 、「関連性の小さいもの」を 1 、「関連性のないもの」を 0 とする。

中心的な参加者：設計、購買、生産、配送など各部門からのメンバー

テーブル上の操作

整理したコンポーネントと定められた関連度を入力する。0 の場合は特に入力する必要はない。

例えば、**表 4.3-7** のようになる。

■ 表 4.3-7　EM と PC の関連度の入力後のテーブル

EM ＼ PC		相対的重要度（部門内）	設計部門						購買部門					生産部門		配送部門	
			モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング	梱包材	モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング材料	ハウジング射出成形機	組み付けライン	トラック	パレット
設計部門	空気流量	0.14	9	1	1	1	1										
	空気の温度	0.15	3	3	9	1	1										
	バランス(トルク)	0.05	9	3			9										
	質量、重量	0.06	9				9										
	体積	0.06					9	3									
	部品点数	0.03	1	1		9	3										
	材料種別数	0.02	1	1		9	3										
	硬度	0.12	9	3			9										
	機械的寿命	0.09	9	1	9	3	9										
	使用時の消費エネルギー量	0.14	9		9	3											
	リサイクル材の使用率	0.00					3	9									
	騒音・振動・電磁波	0.12	9	3			9										
	製品に含まれる有害物質量	0.00				9	3	1									
	使用時の廃棄物排出量	0.02						3									
購買部門	購買品の製造時の消費エネルギー量	0.75							9	3			1				
	購買品の製造時の有害物質使用量	0.00								1		9	3				
	購買品の製造時の廃棄物排出量	0.25							9	3	3	1	9				
	購買品のリサイクル材の使用率	0.00									3	1	9				
生産部門	製造時の消費エネルギー量	0.68												9	1		
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	0.00												1	9		
	製造時の有害物質使用量	0.30													3		
	製造時の廃棄物排出量	0.03												3	9		
配送部門	配送・回収時の消費エネルギー量	0.75														9	
	配送・回収時の有害物質排出量	0.25														3	
	配送・回収時の廃棄物排出量	0.00															9
総得点			6.90	1.58	3.49	1.49	4.91	0.28	9.00	3.00	0.75	0.25	3.00	6.15	1.80	7.50	0.00
相対的重要度（部門内）			0.37	0.08	0.19	0.08	0.26	0.02	0.56	0.19	0.05	0.02	0.19	0.77	0.23	1.00	0.00
相対的重要度（全社内）			0.14	0.03	0.07	0.03	0.10	0.01	0.18	0.06	0.01	0.00	0.06	0.12	0.04	0.15	0.00

設計部門では「モーター」、購買部門でも「モーター」、生産部門では「ハウジング射出成形機」が最も重要であるという結果になっている。

フェーズⅡで得られる結果

１．総得点

総得点は各コンポーネントに対して得られる。「工学的尺度」の「相対的重要度」（前フェーズで得られたもの）と、各工学的尺度とコンポーネントの「関連度」の積を合計したものである。この値が大きいコンポーネントは、フェーズⅠのステップ１、２で定められた要求を満たすために重要であると判断できる。

２．相対的重要度（部門内）

各コンポーネントの総得点を各部門の総得点の合計値で割った値である。各部門でコンポーネントの総得点の合計が１となる。この値は、各部門内での該当工学的尺度の重要さを表す。

３．相対的重要度（全社内）

各コンポーネントの総得点を全部門の総得点の合計値で割った値である。全ての各コンポーネントの総得点の合計が１となる。この値は、全社内での該当コンポーネントの重要さを表す。

テーブル上ではフェーズⅡの表の一番下の行に記す。

フェーズⅠ、Ⅱでは、フェーズⅠで定められた、対象製品に対する要求を満たすために、大きな影響を持つコンポーネントが特定される。よって、対象製品を改善するためには、それらのコンポーネントを改良することが早道であるという指針が得られる。

(3) フェーズⅢ（改善案の考案）

改善案の設定及び工学的尺度に対する改善率の算出

本フェーズは設計部門用 QFDE と同様のプロセスである。ただし、フェーズⅡでも示した手順と同様に、各部門ごとに検討するという点が異なる。具体的には次の 2 つのステップを踏む。

ステップ 1 ：改善予算想定

設計門用 QFDE と同じ手順である。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

テーブル上の操作

ない。

ステップ 2 ：設計（改善）案の設定

本ステップは設計門用 QFDE と同様のプロセスである。ただし、フェーズⅡでも示した手順と同様に、各部門ごとに検討するという点が異なる。

通常、設計変更案は複数の代替案が用意され、より良い案を採択することになるが、ここでは例として 1 つの案を示す。

中心的な参加者：各部門からのメンバー

本案では、参加した 4 つの全部門から、改善可能なものがあったと想定している。ここでは以下の 5 つの組み合わせが改善されるものとする。

・設計部門による、「梱包材」の「リサイクル材の使用率」
・購買部門による、「ハウジング材料」の「リサイクル材の使用率」
・生産部門による、「ハウジング射出成形機」と「組み付けライン」双方の「廃棄物排出量」
・配送部門による、「パレット」の「廃棄物排出量」

テーブル上の操作

設計門用 QFDE と同じ手順である。

本案では表 4.3-8 のように行う。

■ 表 4.3-8　フェーズIIIの入力後の状態

PC / EM		設計部門						購買部門					生産部門		配送部門		
		モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング	梱包材	モーター	ファン	ヒーター	スイッチ/ワイヤーハーネス	ハウジング材料	ハウジング射出成形機	組み付けライン	トラック	パレット	EMの改善率
設計部門	空気流量																0.00
	空気の温度																0.00
	バランス(トルク)																0.00
	質量、重量																0.00
	体積																0.00
	部品点数																0.00
	材料種別数																0.00
	硬度																0.00
	機械的寿命																0.00
	使用時の消費エネルギー量																0.00
	リサイクル材の使用率						9										0.75
	騒音・振動・電磁波																0.00
	製品に含まれる有害物質量																0.00
	使用時の廃棄物排出量																0.00
購買部門	購買品の製造時の消費エネルギー量																0.00
	購買品の製造時の有害物質使用量																0.00
	購買品の製造時の廃棄物排出量																0.00
	購買品のリサイクル材の使用率											9					0.69
生産部門	製造時の消費エネルギー量																0.00
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波																0.00
	製造時の有害物質使用量																0.00
	製造時の廃棄物排出量												1	9			0.83
配送部門	配送・回収時の消費エネルギー量																0.00
	配送・回収時の有害物質排出量																0.00
	配送・回収時の廃棄物排出量															3	0.33

(4) フェーズIVa(改善案の評価)

改善案の評価と選択

本フェーズは設計門用QFDEと同じ手順である。2つのステップから成る。

ただし、改善案が1つしかない場合には、改善によってどのような効果があるかを把握するために行う。また、複数の改善案がある場合でも、目的が改善案の選択ではない場合には、各々の改善によってどのような効果があるかを把握するために行なう。

ステップ1:環境側面からの要求に対する改善率と改善効果の算出

設計門用QFDEと同じ手順である。

中心的な参加者:プロジェクトマネージャー

テーブル上の操作

ない。

ヘアードライヤーの例で言えば、フェーズIVaのテーブルは**表4.3-9**のようになる。

■ 表 4.3-9　フェーズ IVa のテーブル

VOC ＼ EM		設計部門														購買部門				生産部門				配送部門				
	重要度	空気流量	空気の温度	バランス(トルク)	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量	VOCの改善率	VOCの改善効果
早く乾かせる	9	9	9								9		9														0.00	0.00
静かに動作	3	9									9		9														0.00	0.00
安全に操作できる	3	1	9	3					3	9			9														0.00	0.00
操作が簡単	1			3	1								1														0.00	0.00
持ちやすい	9		1	9	9	9			9	3			1														0.00	0.00
信頼性が高い	3	1	1				3	3		9	1		1														0.00	0.00
ポータブルである	1				3	9																					0.00	0.00
素材使用を低減したい	1				9	9	1	3				9															0.22	0.22
加工・組み立てをしやすくしたい	3						9				9																0.00	0.00
製造時排出物を処理しやすくしたい	1				9	9					3				9							9	3				0.06	0.06
簡単に運搬・保管したい	1				9	9					3																0.00	0.00
使用時の生活環境を守りたい	9	9	9						3				9														0.00	0.00
壊れ難くしたい	9								9	9																	0.00	0.00
再利用しやすくしたい	1									9																	0.00	0.00
分解・部品の選別をしやすくしたい	3						9	9			3																0.00	0.00
破砕・素材の選別をしやすくしたい	3								9		9																0.00	0.00
有害物質を発生させない製品にしたい	3							3							9			9				9			9		0.00	0.00
消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9								9					9				9				9			0.00	0.00
EMの改善率		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.33		
改善効果の合計値																												0.28

ステップ 2：改善案の選択

設計門用 QFDE と同じ手順である。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

テーブル上の操作

ない。

4.3.6 サブストリームの手順

(1) フェーズ 0b（環境問題から DfE チェックリストへの展開）

環境問題から DfE チェックリストへの展開

ここでは、複雑な環境問題を大局的に捉えるため、最も抽象度の高い要素として環境問題を取り上げる。環境問題としては特に対象とする必要のあるものがなければ、環境白書に記載されている一般的な項目を採用するのが良いだろう。環境問題を工学的な視点に置き換えるために、DfE チェックリスト項目へ展開する。DfE チェックリスト項目には自社でデザインレビューなどに利用している項目を採用するのが良いだろう。

その後、フェーズ Ia と同様に両者の関連度を与える。

中心的な参加者：環境部門からのメンバー

テーブル上の操作

定められた関連度をフェーズⅠのマトリックスの部分（**表 4.3-10 参照**）に入力する。なお、以下でチェックリストにはデフォルトリストが、環境問題には平成 11 年の環境白書で記されている主な環境問題だけが入っている。0 の場合は特に入力する必要はない。

■ 表 4.3-10　入力用のテーブル

チェックリスト ＼ 環境問題		1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減			3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減				6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化									
	重要度	1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2 （運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示
オゾン層の破壊	3																																				
地球温暖化	9																																				
酸性雨	3																																				
熱帯林の減少	1																																				
砂漠化	1																																				
野生生物種の減少	1																																				
総得点		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相対的重要度																																					

入力後は例えば、**表 4.3-11** のようになる。

■ 表 4.3-11　入力後のテーブル

チェックリスト ＼ 環境問題	重要度	1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減		
		1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2（運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減
オゾン層の破壊	3	9								
地球温暖化	9					3		1	1	
酸性雨	3	1				3		1	1	
熱帯林の減少	1		3							
砂漠化	1					1				
野生生物種の減少	1	3						1		
総得点		33	3	0	0	37	0	13	12	0
相対的重要度		0.07	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.03	0.03	0.00

チェックリスト ＼ 環境問題	3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減			
	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減
オゾン層の破壊													
地球温暖化	1	1	3					1	3				9
酸性雨	1				3			9	3				3
熱帯林の減少				3									9
砂漠化			1						3				9
野生生物種の減少	1				1							3	
総得点	13	9	28	3	10	0	0	36	39	0	0	3	108
相対的重要度	0.03	0.02	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	0.08	0.09	0.00	0.00	0.01	0.24

チェックリスト ＼ 環境問題	6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化									
	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示
オゾン層の破壊	1	1	1	1						3				1
地球温暖化									3					
酸性雨	1	1	1	1					1					
熱帯林の減少							3							
砂漠化									1					
野生生物種の減少	3	3	3	3	9	3				1				1
総得点	9	9	9	9	9	3	3	0	31	10	0	0	0	4
相対的重要度	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01

（2）フェーズ Ib（DfE チェックリストから工学的尺度への展開）

DfE チェックリストから工学的尺度への展開

工学的尺度の整理方法はフェーズ Ia のステップ 3 で説明したのと同様である。

ここでは、DfE チェックリストの項目が具体的にどの部門のどの属性と関連しているかを明確にする。設計部門のパラメータだけでなく、購買、生産、配送といった全社で行なわれている活動全体に視野を広げ、環境側面も含めた工学的尺度の抽出をプロジェクトのメンバーが行なう。具体的にはフェーズ Ia と同様に両者の関連度を与える。

中心的な参加者：環境部門からのメンバー

テーブル上の操作

整理したEMと定められた関連度を表 4.3-12 のテーブルに入力する。0の場合は特に入力する必要はない。

■ 表 4.3-12　入力用のテーブル

チェックリスト	EM	相対的重要度	設計部門														購買部門				製造部門				配送部門		
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材	0.07																									
	1.2 非枯渇性資源の利用	0.01																									
	1.3 再生された素材の利用	0.00																									
	1.4 再生容易な原料	0.00																									
	1.5 低いエネルギー含有素材	0.08																									
	1.6 加工容易性の高い素材	0.00																									
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減	0.03																									
	2.2 （運搬時）体積の低減	0.03																									
	2.3 材料の種類数の低減	0.00																									
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術	0.03																									
	3.2 より少ない生産手順	0.02																									
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.06																									
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	0.01																									
	3.5 より少ない生産廃棄物	0.02																									
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	0.00																									
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	0.00																									
	4.3 環境影響の低い運搬手段	0.08																									
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	0.09																									
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.00																									
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	0.00																									
	5.3 環境への排出物の低減	0.01																									
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	0.24																									
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性	0.02																									
	6.2 容易な保全と修復	0.02																									
	6.3 モジュラーな製品構造	0.02																									
	6.4 製品とユーザーの強い関係	0.02																									
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用	0.02																									
	7.2 部品の再利用	0.01																									
	7.3 素材の再生	0.01																									
	7.4 環境影響の低い回収手段	0.00																									
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	0.07																									
	7.6 製品の分解性	0.02																									
	7.7 素材の破砕性	0.00																									
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	0.00																									
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	0.00																									
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	0.01																									
総得点			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
相対的重要度(全社内)																											
相対的重要度(部門内)																											

例えば、**表 4.3-13** のようになる。

■ 表 4.3-13　入力後のテーブル

チェックリスト ＼ EM		相対的重要度	設計部門														購買部門				製造部門				配送部門		
			空気流量	空気の濃度	バランス(トルク)	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材	0.07													9			3									
	1.2 非枯渇性資源の利用	0.01											1							1							
	1.3 再生された素材の利用	0.00											9							9							
	1.4 再生容易な原料	0.00																									
	1.5 低いエネルギー含有素材	0.08															9										
	1.6 加工容易性の高い素材	0.00																			9	3					
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減	0.03				9																			1		
	2.2 （運搬時）体積の低減	0.03					9																		3		1
	2.3 材料の種類数の低減	0.00							9																		
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術	0.03																			3	1	9	3			
	3.2 より少ない生産手順	0.02																			3						
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.06																			9						
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	0.01																					9	3			
	3.5 より少ない生産廃棄物	0.02																						9			
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	0.00																									3
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	0.00																									9
	4.3 環境影響の低い運搬手段	0.08																							3	9	
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	0.09																							9	3	
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.00	9	9								9															
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	0.00														3											
	5.3 環境への排出物の低減	0.01												9		9											
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	0.24										3				1											
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性	0.02								3	9																
	6.2 容易な保全と修復	0.02						3			3																
	6.3 モジュラーな製品構造	0.02						3			1																
	6.4 製品とユーザーの強い関係	0.02																									
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用	0.02									3																1
	7.2 部品の再利用	0.01									3																
	7.3 素材の再生	0.01																									
	7.4 環境影響の低い回収手段	0.00																							3		
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	0.07																							9		
	7.6 製品の分解性	0.02						3	3																		
	7.7 素材の破砕性	0.00								9																	
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	0.00													9												
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	0.00													9												
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	0.01																									3
総得点			0.00	0.00	0.00	0.26	0.24	0.19	0.07	0.06	0.35	0.73	0.01	0.06	0.67	0.30	0.75	0.22	0.00	0.01	0.72	0.03	0.33	0.31	1.78	1.00	0.07
相対的重要度(部門内)			0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.06	0.02	0.02	0.12	0.25	0.00	0.02	0.23	0.10	0.77	0.23	0.00	0.01	0.52	0.02	0.23	0.23	0.62	0.35	0.03
相対的重要度(全社内)			0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.09	0.00	0.01	0.08	0.04	0.09	0.03	0.00	0.00	0.09	0.00	0.04	0.04	0.22	0.12	0.01

既に説明したようにフェーズ 0b と Ib を通じても、既に説明したフェーズ Ia と同等の結果が得られる。

(3) フェーズ IVb ・ Vb（改善案の評価）

フェーズ IVb 及びフェーズ Vb を通じて、フェーズ Ib 及びフェーズ 0b で行った展開を遡ることで DfE チェックリスト項目、環境問題に対する改善率と改善効果を算出する。その後、複数の改善案がある場合には、それらを比較することで選択する。

DfE チェックリスト項目に対する改善率の算出 (フェーズ IVb)

フェーズ IVa と同様の手順である。

テーブル上の操作

ない。

ヘアードライヤーの例で言えば、フェーズ IVb のテーブルは**表 4.3-14** のようになる。

■ 表 4.3-14　フェーズ IVb の結果

チェックリスト ＼ EM		設計部門														購買部門				製造部門				配送部門			
		空気流量	空気の温度	バランス(トルク)	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量	チェックリストの改善率
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材													9			3										0.00
	1.2 非枯渇性資源の利用											1							1								0.72
	1.3 再生された素材の利用											9							9								0.72
	1.4 再生容易な原料																										0.00
	1.5 低いエネルギー含有素材															9											0.00
	1.6 加工容易性の高い素材																			9	3						0.00
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減				9																			1			0.00
	2.2 （運搬時）体積の低減					9																		3		1	0.03
	2.3 材料の種類数の低減							9																			0.00
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術																			3	1	9	3				0.16
	3.2 より少ない生産手順																			3							0.00
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費																			9							0.00
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品																					9	3				0.21
	3.5 より少ない生産廃棄物																						9				0.83
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装																									3	0.33
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装																									9	0.33
	4.3 環境影響の低い運搬手段																							3	9		0.00
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定																							9	3		0.00
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	9	9								9																0.00
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品														3												0.00
	5.3 環境への排出物の低減												9		9												0.00
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減										3				1												0.00
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性								3	9																	0.00
	6.2 容易な保全と修復						3			3																	0.00
	6.3 モジュラーな製品構造						3			1																	0.00
	6.4 製品とユーザーの強い関係																										0.00
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用									3																1	0.08
	7.2 部品の再利用									3																	0.00
	7.3 素材の再生																										0.00
	7.4 環境影響の低い回収手段																							3			0.00
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定																							9			0.00
	7.6 製品の分解性						3	3																			0.00
	7.7 素材の破砕性								9																		0.00
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）													9													0.00
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性													9													0.00
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示																									3	0.33
EMの改善率		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.33	

環境問題に対する改善率と改善効果の算出（フェーズ Vb）

DfE チェックリスト項目に対して得られた改善率とフェーズ 0b で設定した関連度を使って、環境問題に対する改善率と改善効果を算出する。環境問題に対する改善効果とは、改善率に環境問題の重要度を加味したものである。

テーブル上の操作

ない。

改善案の選択

設計門用QFDEと同じ手順である。

中心的な参加者：プロジェクトマネージャー

テーブル上の操作

ない。

ヘアードライヤーの例で言えば、フェーズVbのテーブルは**表4.3-15**のようになる。

■ 表4.3-15　フェーズVbの結果

チェックリスト ／ 環境問題	重要度	1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減			3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減				6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化										環境問題の改善率	環境問題の改善効果
		1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2 （運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示		
オゾン層の破壊	3	9																						1	1	1	1						3				1	0.02	0.06
地球温暖化	9					3		1	1		1	1	3					1	3				9									3						0.01	0.06
酸性雨	3	1				3		1	1		1				3			9	3				3	1	1	1	1					1						0.09	0.27
熱帯林の減少	1		3											3									9							3								0.15	0.15
砂漠化	1					1		1					1						3				9									1						0.00	0.00
野生生物種の減少	1	3									1				1							3		3	3	3	3	9	3				1				1	0.06	0.06
チェックリストの改善率		0.00	0.72	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.16	0.00	0.00	0.21	0.83	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33		
改善効果の合計値																																							0.60

4.3.7 まとめ

以上で、本テキストを用いた環境調和型製品企画の説明を終わる。本手法では設計部門用と違って、環境側面を含めた要求に対する改善を設計以外の部門の変数も含めて検討することが出来る。つまり、本来、購買、生産、配送などの部門の活動によっても環境側面の改善のための活動が出来るわけであるから、それらを製品企画の手法としてまとめた手法に相当する。

C O L U M N

コラム

QFDEの課題

恐らく読者の方は、既にQFDEの理解度も充分と思われますので、ここではQFDEが有している主な課題を説明します。

①コストに関する検討が充分でない

QFDではコストに関する検討は「コスト展開」と呼ばれるフェーズで行ないますが、QFDEではその部分を省略しています。確かにフェーズIIIにおいて改善案に投入するコストを設定する箇所で多少検討はしますが、充分ではありません。

さらに、経済的なコストだけではなく、環境影響を社会的なコストとして見積もって利用することも課題です。

②複数の要素のトレードオフを扱っていない

QFDでは通常、2つの工学的尺度の間に対して相関を表す情報を「コーリレーションマトリックス」として表現し、トレードオフを扱うなどのことを行います。QFDEではその部分を省略しています。

さらに、環境適合設計を行なう上で市場性と環境調和性の両者に対して、折り合いを付ける方法を開発することも課題です。そもそも全ての要求を完全に満たすような製品開発は不可能なのですから。

③改善案を行なう部門の決定方法が未開発

本項は部門用QFDEにのみ当てはまる課題です。同じ目的の改善であっても実現する方法は複数あり得ますが、その場合にどの部門で行なうのが適切かを判断する際の支援方法は未開発です。

Chapter 5 ケーススタディ

ここでは、本テキストが掲載する DfE ツールを使用して、実際の製品メーカーにおいて設計部門を中心としたメンバーのグループが、自社製品を対象に行ったケーススタディの実施結果を四つ紹介する。

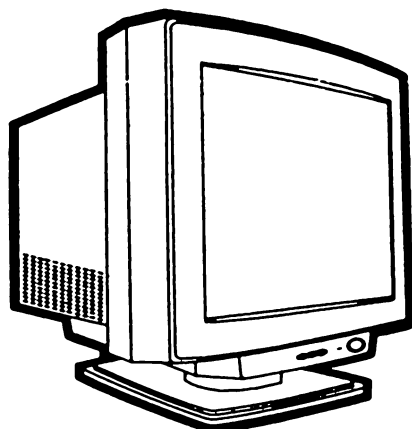
5.1 CRT モニターの設計

5.1.1 製品概要

本ケーススタディの対象とした製品は、CRT モニター（コンピュータディスプレイ）である。以下に特徴などを記す。

・画面サイズ：22 インチ
・カラー表示
・最大解像度：2048 × 1536
・ Windows 95/98/Me　Plug & Play 対応
・ MPR Ⅱ、TCO 準拠
・パワーマネージメント機能搭載

CRT：Cathode Ray Tube

■ 図 5.1-1　対象製品の外観

5.1.2 DfE チェックリストの使用

対象製品に対して DfE チェックリストを適用した結果を**表 5.1-1** に示す。

■ 表 5.1-1 DfE チェックリストの適用結果

チェックリスト項目 ＼ 段階	既に実施中	今期中に実施予定（未実施）	検討しているが時間がかかる（未実施）	実施困難（未実施）	備考（コメントなど）
1. 低環境影響素材の選択					
1.1 有毒性・有害性のない素材	○				
1.2 非枯渇性資源の利用		○			プラスチックハウジングの厚みを変更して材料使用を削減
1.3 再生された素材の利用	○		○		ダンボール/取扱説明書は実施済み、その他は未実施
1.4 再生容易な原料			○		発泡スチロールからダンボール及びエアクッションへ
1.5 低いエネルギー含有素材	○				1.4 と同じ
1.6 加工容易性の高い素材					自社での加工がない
2. 素材使用の低減					
2.1 重量の低減	○				ハウジングの薄肉化、CRT の軽量化
2.2 (運搬時)体積の低減			○		小型/軽量化の検討中
2.3 材料の種類数の低減	○				継続的に実施
3. 生産技術の最適化					
3.1 環境影響の低い生産技術	○				自動調整設備の導入
3.2 より少ない生産手順	○				継続的に実施
3.3 より少ない/環境影響の低いエネルギー消費			○		
3.4 より少ない/環境影響の少ない生産消耗品					生産消耗品は特になし
3.5 より少ない生産廃棄物					3.4 と同じ
4. 配送システムの最適化					
4.1 より少ない/環境影響の少ない/燃焼可能素材による包装	○		○		1.4 と同じ
4.2 再利用可能/再生利用可能な包装	○		○		1.4 と同じ
4.3 環境影響の低い運搬手段	○				コンテナによる船出荷
4.4 エネルギー効率のよい運搬ルートの設定	○				問屋抜きの販路
5. 使用時の環境影響の低減					
5.1 より少ない/環境影響の低いエネルギー消費			○		低電力回路の開発
5.2 より少ない/環境影響の低い消耗品					消耗品なし
5.3 環境への排出物の低減					使用時の排出物なし
5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	○				パワーマネジメント
6. 寿命の最適化					
6.1 高い信頼性と耐久性	○				継続的に実施
6.2 容易な保全と修復	○				サービス性向上は継続的に実施
6.3 モジュラーな製品構造			○		部品レベルの共用化にとどまっている
6.4 製品とユーザーの強い関係		○			TV コマーシャル・サービスセンターの充実化
7. 寿命終了時のシステムの最適化					
7.1 製品の再利用				○	
7.2 部品の再利用				○	
7.3 素材の再生			○		自社の回収システムがないため、業者委託を使用(海外) リサイクル事業への参画を検討中(国内)
7.4 環境影響の低い回収手段			○		
7.5 エネルギー効率のよい回収ルートの設定			○		
7.6 製品の分解性			○		
7.7 素材の破砕性			○		
7.8 安全な焼却（エネルギー回復）			○		
7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性			○		
7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	○				廃棄方法についてのみ全モデルにて取扱説明書へ明示

→表 2.1-1 に相当

5.1.3 設計部門用 QFDE フェーズⅠ、Ⅱ

実施した QFDE のフェーズⅠ、Ⅱの結果を、おのおの**表 5.1-2**、**表 5.1-3** にまとめる。

環境 VOC としてはデフォルトリストをそのまま採用し、環境 EM としてはデフォルトリストに二つ追加したものを用いた。ただし、本ケーススタディは、本テキストに掲載のデフォルトリストが決定される以前に実施したため、旧いバージョンのデフォルトリストとなっている。

画面サイズ、輝度及び解像度に対して、高い相対的重要度が得られた。

→ p.99 の手続き

■ 表 5.1-2　フェーズⅠの結果

QFDE フェーズⅠ 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 画面サイズ	輝度	解像度（走査周波数）	映像振幅	フォーカス	CRTの光透過率	管面反射率	チルト・スイーベル量	操作スイッチ数	コネクター数	操作時間	スイッチの操作荷重・ストローク	設置時間	MTBF（初期故障時間）	表示・文字の大きさ	部品価格	製品の製造時間	運賃	省電力モード時の消費エネルギー量	消費エネルギー量の効率	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	汚れ	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	大気汚染物質量	水質汚濁物質量	土壌汚染物質量	生分解性	素材の有毒・有害性
画面が明るい	9	1	9		9		9	3																					3							
表示が見やすい	9	9	9	9	1	9	1	3	3																	1										
画質がいい	9	3	9	9	3	9	1	3	1																											
デザイン（色）がいい	9	3							3	3	3	1	1	1		3		1				1	1													
解像度の選択肢が多い	3	3		9																																
画面調整が容易	3									9	1	9	3																							
ケーブルをつなげやすい、設置が容易	3	3							3	3	3	1	1	9		1																				
省スペース	9	9							1		1			1								3	9	1												
重量が軽い	9	9																				9	3	3												
長寿命	3														3									1				9								
汚れやほこりを落としやすい	1																									3										
アフターサービスが充実している（修理が速い、確実）	3									3	3	3	1			1			3									1								
説明書が読みやすい	3									1		3		1		3																				
電磁波ノイズが少ない	3	1		1																											9					
修理代が安い	1	3								1	1		1		3		9	1	3					3	1			3								
値段が安い	9	9	1	3				3	1	1	1	1	1	1	1		9	3	3	1	3			3	3			3			1					
素材使用を低減したい	1																					9	9	1	3					9						
簡単に運搬・保管したい	1																					9	9						3							
加工・組み立てをしやすくしたい	3	3		3					1	1	1						1	9	1		9	3	3	9					9							
消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9	9	3	1	3													9	9								9							
壊れにくくしたい	9									1	1		1		9		1									1	9	9								
再利用しやすくしたい	1									1	1			1	1		1	1	3							9		9								
分解しやすくしたい	3	1							1	3	3		1	1			1	3	1					9	9				3							
洗浄しやすくしたい	1																									9			3							
破砕しやすくしたい	3	3								1	1								1								9		9							
分別・選別しやすくしたい	3	3								3	3		1				1	1			1			9	9				3							
安全焼却したい	1																								3							9	3	1		9
安全埋め立てしたい	3	9								3	3		1				1								3							3	9	9	9	9
生活環境を守りたい	9																										3				9					
排出物を処理しやすくしたい	1	3								1	1								3			9	9						3			9	9	9		9
捨てるときに気を使わないようにしたい	3	3								1	1						1		3			1	1							3						9
	総得点	561	333	309	144	171	126	108	96	132	114	66	52	61	103	42	115	77	63	90	138	156	156	151	97	39	135	150	189	18	117	27	39	37	27	72
	相対的重要度	0.13	0.08	0.07	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02

→表 4.2-6 に相当

■ 表 5.1-3　フェーズⅡの結果

QFDE フェーズⅡ 工学的尺度	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント CRT	チルトスタンド	シャーシ（内装）	電磁シールド部品	ワイヤーハーネス類	コネクター・スイッチ	基板	ハウジング（意匠）	取扱説明書	梱包部品
画面サイズ	0.13	9	1	3		1		3	3	3	3
輝度	0.08	9		1		3	3	9	1		
解像度（走査周波数）	0.07	3			1	3	1	9		3	
映像振幅	0.03	3				3	3	9			
フォーカス	0.04	9				1		9			
CRT の光透過率	0.03	9							1		
管面反射率	0.03	9							1		
チルト・スイーベル量	0.02		9	3					3		
操作スイッチ数	0.03			3		1	9	3	9	3	
コネクター数	0.03			3		1	9	3	9	3	
操作時間	0.02	1	1	3			9	9	3	3	
スイッチの操作荷重・ストローク	0.01			3			9	3	3		
設置時間	0.01		3	1		9	3		9	3	9
MTBF（初期故障時間）	0.02	9					1	9	1		
表示・文字の大きさ	0.01						9		3	9	1
部品価格	0.03	9		3	1	1	1	9	3	1	1
製品の製造時間	0.02	9	1	9	1	3	3	9	3		1
運賃	0.01	9		3		1	1	3	3		9
省電力モード時の消費エネルギー量	0.02	1						9			
消費エネルギー量の効率	0.03	3						9			
質量、重量	0.04	9	1	9	1			3	9		3
体積	0.04	3	1	3	1			1	3		3
部品点数	0.04		1	3	3	3	1	3	3		1
材料種別数	0.02	3	1	3	1	1	1	1	1		1
汚れ	0.01	3	1				1		3		
硬度	0.03	3		3				3	3		
機械的寿命	0.03	3		1			1	3	1		
消費エネルギー量	0.04	9						9			
リサイクル材の使用率	0.00	3	3	1	1			3	3	1	3
騒音・振動・電磁波	0.03				3	3		3			
大気汚染物質量	0.01	3	3					3	3		
水質汚濁物質量	0.01										
土壌汚染物質量	0.01	3	1	1	1	3	3	3	1		
生分解性	0.01										
素材の有毒性・有害性	0.02	3				3		3			
	総得点	5.14	0.59	1.83	0.41	1.28	1.54	4.92	2.30	0.98	0.99
	相対的重要度	0.26	0.03	0.09	0.02	0.06	0.08	0.25	0.12	0.05	0.05

→表 4.2-9 に相当

CRT 及び基板に対して、高い相対的重要度が得られた。

→ p.103 ～ 104 の手続き

5.1.4 設計部門用 QFDE フェーズⅢ, Ⅳ

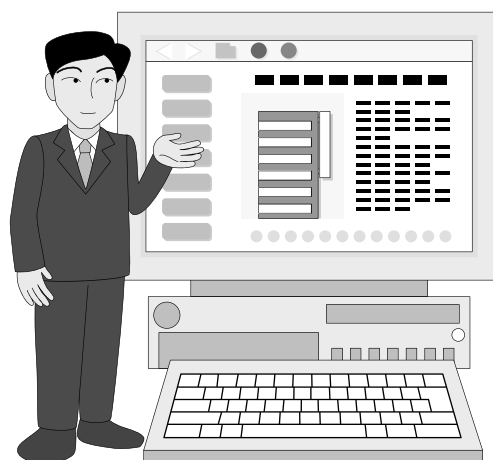
ここでは、フェーズ I、II の結果を踏まえて、基板を中心に設計変更する案を一つ設定した。

表 5.1-4、**表 5.1-5** におのおのフェーズⅢ、フェーズⅣの結果を示す。

→ p.106 ～ 107 の手続き

「消費エネルギーを少なくしたい」、「画質がいい」に設計変更の効果が大きく現れることが分かった。

→ p.110 ～ 111 の手続き

■ 表 5.1-4　フェーズⅢのテーブル

QFDE フェーズⅢ 工学的尺度	コンポーネント CRT	チルトスタンド	シャーシ（内装）	電磁シールド部品	ワイヤーハーネス類	コネクター・スイッチ	基板	ハウジング（意匠）	取扱説明書	梱包部品	変更可能性合計	工学的尺度に対する設計変更効果
画面サイズ											0	0.00
輝度							9				9	0.35
解像度（走査周波数）							9				9	0.45
映像振幅							9				9	0.50
フォーカス							9				9	0.47
CRT の光透過率											0	0.00
管面反射率											0	0.00
チルト・スイーベル量											0	0.00
操作スイッチ数						9	3				12	0.43
コネクター数						9	3				12	0.43
操作時間						9	9				18	0.62
スイッチの操作荷重・ストローク						9					9	0.50
設置時間						3					3	0.08
MTBF（初期故障時間）						1	9				10	0.50
表示・文字の大きさ						9					9	0.41
部品価格						1	9				10	0.34
製品の製造時間							9				9	0.23
運賃											0	0.00
省電力モード時の消費エネルギー量							9				9	0.90
消費エネルギー量の効率							9				9	0.75
質量、重量											0	0.00
体積							1				1	0.07
部品点数							3				3	0.17
材料種別数											0	0.00
汚れ											0	0.00
硬度											0	0.00
機械的寿命											0	0.00
消費エネルギー量							9				9	0.50
リサイクル材の使用率											0	0.00
騒音・振動・電磁波											0	0.00
大気汚染物質量							3				3	0.25
水質汚濁物質量											0	0.00
土壌汚染物質量							3				3	0.19
生分解性											0	0.00
素材の有毒性・有害性							3				3	0.33

→表 4.2-11 に相当

■ 表 5.1-5　フェーズⅣの結果

QFDE フェーズⅣ 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度：画面サイズ	輝度	解像度（走査周波数）	映像振幅	フォーカス	CRT の光透過率	管面反射率	チルト・スイーベル量	操作スイッチ数	コネクター数	操作時間	スイッチの操作荷重・ストローク	設置時間	MTBF（初期故障時間）	表示・文字の大きさ	部品価格	製品の製造時間	運賃	省電力モード時の消費エネルギー量	消費エネルギー量の効率	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	汚れ	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	大気汚染物質量	水質汚濁物質量	土壌汚染物質量	生分解性	素材の有毒性・有害性	顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
画面が明るい	9	1	9		9		9	3																					3								0.27	2.41
表示が見やすい	9	9	9	9	1	9	1	3	3																	1											0.27	2.39
画質がいい	9	3	9	9	3	9	1	3	1																												0.34	3.06
デザイン（色）がいい	9	3							3	3	3	1	1	1		3		1				1	1														0.25	2.27
解像度の選択肢が多い	3	3		9																																	0.34	1.01
画面調整が容易	3									9	1	9	3																								0.52	1.55
ケーブルをつなげやすい、設置が容易	3	3							3	3	3	1	1	9		1																					0.20	0.60
省スペース	9	9							1		1			1								3	9	1													0.05	0.46
重量が軽い	9	9																				9	3	3													0.03	0.26
長寿命	3														3									1				9									0.13	0.38
汚れやほこりを落としやすい	1																									3											0.00	0.00
アフターサービスが充実している（修理が速い、確実）	3									3	3	3	1			1			3									1									0.36	1.07
説明書が読みやすい	3									1		3		1		3																					0.45	1.35
電磁波ノイズが少ない	3	1		1																											9						0.04	0.12
修理代が安い	1	3								1	1		1		3		9	1	3					3	1			3									0.23	0.23
値段が安い	9	9	1	3				3	1	1	1	1	1	1	1		9	3	3	1	3			3	3			3			1						0.23	2.03
素材使用を低減したい	1																					9	9	1	3					9							0.02	0.02
簡単に運搬・保管したい	1																					9	9						3								0.10	0.10
加工・組み立てをしやすくしたい	3	3		3					1	1	1						1	9	1		9	3	3	9					9								0.33	1.00
消費エネルギーを少なくしたい	9	9	9	9	3	1	3													9	9								9								0.47	4.20
壊れにくくしたい	9									1	1		1		9		1									1	9	9									0.19	1.74
再利用しやすくしたい	1									1	1			1	1		1	1	3							9		9									0.07	0.07
分解しやすくしたい	3	1							1	3	3		1	1			1	3	1					9	9				3								0.20	0.60
洗浄しやすくしたい	1																									9			3								0.13	0.13
破砕しやすくしたい	3	3								1	1								1								9		9								0.22	0.67
分別・選別しやすくしたい	3	3								3	3		1				1	1			1			9	9				3								0.22	0.65
安全焼却したい	1																								3							9	3	1		9	0.22	0.22
安全埋め立てしたい	3	9								3	3		1				1								3							3	9	9	9	9	0.15	0.45
生活環境を守りたい	9																										3				9						0.00	0.00
排出物を処理しやすくしたい	1	3								1	1								3			9	9						3			9	9	9		9	0.15	0.15
捨てるときに気を使わないようにしたい	3	3								1	1						1		3			1	1							3						9	0.19	0.56
工学的尺度の改善率		0.00	0.35	0.45	0.50	0.47	0.00	0.00	0.00	0.43	0.43	0.62	0.50	0.08	0.50	0.41	0.34	0.23	0.00	0.90	0.75	0.00	0.07	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.25	0.00	0.19	0.00	0.33	6.36	29.77

→表 4.2-13 に相当

5.2 IC パッケージの設計

5.2.1 製品概要

本ケーススタディの対象とした製品は、IC パッケージである。IC パッケージに関連する半導体集積化技術の進歩は、ノートブック型パソコン、携帯電話、カメラ一体型 VTR 等の最近の電子機器の小型化、軽量化、高機能化に欠かせない役割を担っている。**図 5.2-1** に種々の IC パッケージの形態を示す。BGA、CSP、WLP と小型化の変遷をたどっている。本ケーススタディは、この中で BGA タイプの IC パッケージについて実施した。

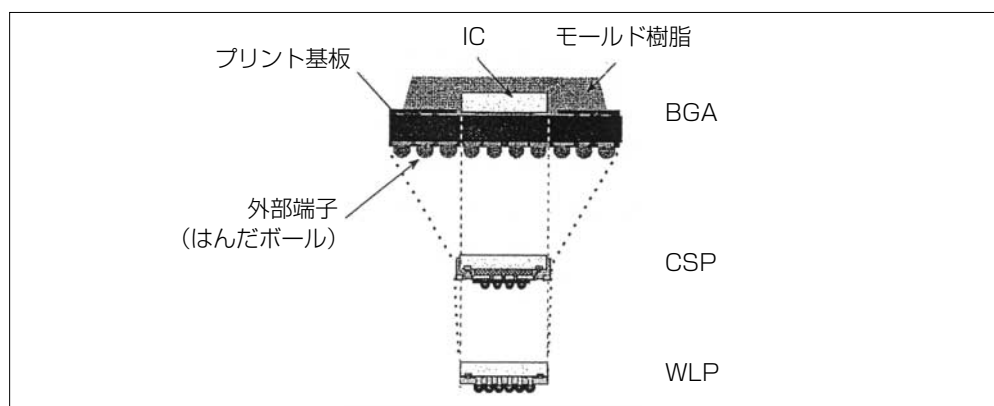
IC ： Integrated Circuit、集積回路

VTR ： Video Tape Recorder

BGA ： Ball Grid Array

CSP ： Chip Size Package

WLP ： Wafer Level Package

■ 図 5.2-1　種々の IC パッケージの形態

（注）上のタイプから下のタイプに向けて小型化の変遷をたどっている。

5.2.2 DfE チェックリストの使用

対象製品に対して DfE チェックリストを適用した結果を**表 5.2- 1** に示す。

■ 表 5.2-1 DfE チェックリストの適用結果

段階 ＼ チェックリスト項目	既に実施中	今期中に実施予定（未実施）	検討しているが時間がかかる（未実施）	実施困難（未実施）	備考（コメントなど）
1.　低環境影響素材の選択					
1.1　有毒性・有害性のない素材	○		○		ハロゲンフリー樹脂や鉛フリー半田の検討
1.2　非枯渇性資源の利用	○				回路形成用貴金属の少量化
1.3　再生された素材の利用	○				ダンボール，梱包材（トレイ）
1.4　再生容易な原料	○		○		熱可塑性樹脂製梱包材，パッケージ構成材料の同種化
1.5　低いエネルギー含有素材			○		放熱板材質や基材組成の検討
1.6　加工容易性の高い素材			○		1.5 と同じ
2.　素材使用の低減					
2.1　重量の低減.	○				両面基板の採用，複数基板の積層化
2.2　(運搬時)体積の低減.	○				小型化・薄層化製品の取組み
2.3　材料の種類数の低減	○		○		基材と接着シート・絶縁層等素材の同種化
3.　生産技術の最適化					
3.1　環境影響の低い生産技術	○				排気・排水処理設備導入，薬液処理工程の密閉化
3.2　より少ない生産手順	○				自動基板製造・組立て設備導入
3.3　より少ない/環境影響の低いエネルギー消費	○				熱回収設備等の導入
3.4　より少ない/環境影響の少ない生産消耗品	○				薬品の補充型投入と VOC 対策溶剤の使用
3.5　より少ない生産廃棄物	○				短期間での開発製品の上市と高歩留りの達成
4.　配送システムの最適化					
4.1　より少ない/環境影響の少ない/燃焼可能素材による包装	○				1.3 に同じ
4.2　再利用可能/再生利用可能な包装	○				1.3 に同じ
4.3　環境影響の低い運搬手段			○		納品ロットの一本化，配送トラックの効率化
4.4　エネルギー効率のよい運搬ルートの設定	○				商社経由のない顧客への直接納品
5.　使用時の環境影響の低減					
5.1　より少ない/環境影響の低いエネルギー消費	○				低消費電力・高処理速度に対応した設計
5.2　より少ない/環境影響の低い消耗品					消耗品はない
5.3　環境への排出物の低減					パッケージ本体からの排出物はない
5.4　エネルギー、消耗品の浪費の低減	○				低消費電力・高処理速度に対応した設計
6.　寿命の最適化					
6.1　高い信頼性と耐久性	○	○			統計的な品質管理と信頼性・寿命評価の実施
6.2　容易な保全と修復				○	形態・機能上からパッケージ本体の修復は困難
6.3　モジュラーな製品構造	○		○		各社パソコンに共通したパッケージ基本構造
6.4　製品とユーザーの強い関係	○				ユーザーの要求内容に合わせた仕様
7.　寿命終了時のシステムの最適化					
7.1　製品の再利用			○		細部は顧客個別仕様の為，他の目的への再利用は難しい
7.2　部品の再利用			○		一部の組立て部品については，再利用ができそう
7.3　素材の再生	○		○		貴金属の回収・再利用，樹脂の再生
7.4　環境影響の低い回収手段			○		回収の為の配車管理
7.5　エネルギー効率のよい回収ルートの設定			○		一括回収
7.6　製品の分解性			○		基材の検討
7.7　素材の破砕性			○		7.6 に同じ
7.8　安全な焼却（エネルギー回復）			○		焼却し易い樹脂と構造の検討
7.9　製品の残余の埋め立てにおける安全性		○	○		ハロゲンフリー樹脂や鉛フリー半田の検討
7.10　素材の組成や廃棄方法の表示			○		素材メーカーへの MSDS 要求と製品の情報開示

→表 2.1-1 に相当

5.2.3 設計部門用 QFDE の適用

(1) QFDE フェーズⅠ、Ⅱ

① QFD

まず、QFD（環境 VOC、環境 EM を含まない従来 VOC、従来 EM のみを考慮する、従来の QFD）を行った。フェーズ I、フェーズ II の実施結果をおのおの**表 5.2-2**、**表 5.2-3** に示す。

■ 表 5.2-2 フェーズⅠの結果

QFD フェーズⅠ 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 端子密度	放熱性	高周波特性	重量	体積
端子密度が高い	1	9	1	3	1	1
小型である	3	3	1	1	9	9
放熱性がよい	1	3	9	1	1	3
IC チップの保護性が優れている	9	1	9	9	1	1
軽量である	3	3	1	1	9	9
信頼性が高い	9	3	3	3	1	1
高周波特性に優れている	1	3	3	9	1	1
	総得点	69	127	127	75	77
	相対的重要度	0.15	0.27	0.27	0.16	0.16

フェーズⅠの結果、工学的尺度の「相対的重要度」をみることによって、この製品では、a.放熱性、b.高周波特性、c.体積が上位 3 項目の重要な工学的尺度であることが分かった。

フェーズⅡの結果、コンポーネントの「相対的重要度」で示すと、この製品では、a.ヒートシンク（銅）、b.基材（エポキシ）、c.内部配線（銅）が上位 3 項目の重要な部品であることが分かった。

■ 表 5.2-3 フェーズⅡの結果

QFD フェーズⅡ / 工学的尺度	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント: 内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ）	基材（エポキシ）	ヒートシンク（銅）
端子密度	0.15	9	3	9	3	1	1
放熱性	0.27	3	1	1	3	3	9
高周波特性	0.27	3	3	3	3	3	1
重　量	0.16	1	1	3	3	9	9
体　積	0.16	3	1	3	3	9	3
	総得点	3.56	1.83	3.34	3.00	4.63	4.73
	相対的重要度	0.17	0.09	0.16	0.14	0.22	0.22

② QFDE

環境 VOC、環境 EM を併せて考慮した QFDE を実施した。この際、環境 VOC、環境 EM についてはデフォルトリストをそのまま採用した。ただし、本ケーススタディは、本テキスト掲載のデフォルトリストが決定される以前に実施したため、古いバージョンのデフォルトリストとなっている。

フェーズⅠ、フェーズⅡの実施結果をおのおの**表 5.2-4**、**表 5.2-5** に示す。

フェーズⅠの結果、EM の「相対的重要度」をみることによって、この製品では、a. 放熱性、b. 高周波特性、c. 素材の有毒性・有害性、d. 機械的寿命、e.消費エネルギー量が上位 5 項目の重要な EM であることが分かった。

→ p.99 の手続き

フェーズⅡの結果、コンポーネントの「相対的重要度」で示すと、この製品では、a. 基材（エポキシ）、b. 絶縁樹脂（エポキシ）、c. 内部配線（銅）が上位 3 項目の重要な部品であることが分かった。

→ p.103 〜 104 の手続き

■ 表 5.2-4 フェーズⅠの結果

QFDE フェーズⅠ / 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	汚れ	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	大気汚染物質量	水質汚濁物質量	土壌汚染物質量	生分解性	素材の有毒・有害性
端子密度が高い	1	1	3	9	3	3					1			1					
小型である	3	1	1	3	3	9	3				1	3		1	1	1	1	1	1
放熱性がよい	1	9	1	3	1	3	1	1			9								
IC チップの保護性が優れている	9	9	9	1						1	9			3					1
軽量である	3	1	1	3	9	3	3			1	1	3		1	1	1	1	1	1
（PKG 本体の）信頼性が高い	9	3	3	3			1	1	1	1	9			3					
高周波特性に優れている	1	3	9	3				1			1			9					
素材使用を低減したい	1	3	1	3	9	9	9	9				9			9	9	9	9	9
簡単に運搬保管したい	1			3		3							9						
加工・組み立てをしやすくしたい	1	1	1	1			9					1							
消費エネルギーを少なくしたい	9			3	1	1						9							
壊れにくくしたい	9	9	9						1	1									
再利用しやすくしたい	1		1	1															
分解しやすくしたい	1	1	1	1	1	1	9	9				3							
洗浄しやすくしたい	1								1			1							
破砕しやすくしたい	3	1	1	1	1	1		1		9		9							
分別・選別しやすくしたい	3	1	1	1	1	1	9	9				3							3
安全焼却したい	1	3	1		1	1		3							9	3	3	3	9
安全埋め立てしたい	3	1	1		1	1		3							3	9	9	9	9
生活環境を守りたい	9	1	1		1	1				3				1	1	1	1	1	9
排出物を処理しやすくしたい	1	3	1	1	9	9						9			9	9	9	9	9
捨てるときに気を使わないようにしたい	3	1	1		1	1							3						9
	総得点	240	235	112	90	95	82	71	19	84	179	158	18	79	51	63	63	63	186
	相対的重要度	0.13	0.12	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.01	0.04	0.09	0.08	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10

→表 4.2-6 に相当

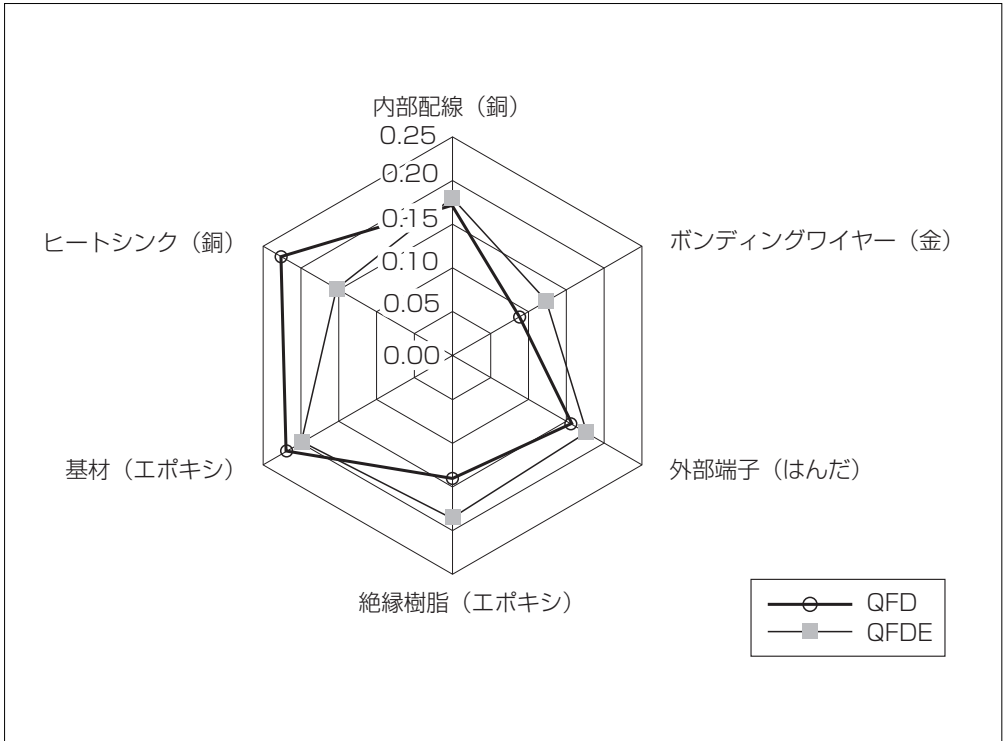
■ 表 5.2-5　フェーズⅡの結果

QFDE フェーズⅡ 工学的尺度	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント 内部記録（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ）	基材（エポキシ）	ヒートシンク（銅）
放熱性	0.13	3	1	1	3	3	9
高周波特性	0.12	3	3	3	3	3	1
端子密度	0.06	9	3	9	3	1	1
質量、重量	0.05	1	1		3	9	3
体積	0.05	1	1		3	9	3
部品点数	0.04				1	1	
材料種別数	0.04				1	1	
汚れ	0.01			1		1	1
硬度	0.04					9	
機械的寿命	0.09	9	9	3	3	3	3
消費エネルギー量	0.08						
リサイクル材の使用率	0.01					1	1
騒音・振動・電磁波	0.04	3			3		
大気汚染物質量	0.03				9	9	
水質汚濁物質量	0.03	3		9	3	3	3
土壌汚染物質量	0.03	3		9	3	3	3
生分解性	0.03						
素材の有毒性・有害性	0.10	3	3	9	9	3	3
	総得点	2.86	1.93	2.82	3.05	3.22	2.42
	相対的重要度	0.18	0.12	0.17	0.19	0.20	0.15

→表 4.2-9 に相当

③ QFD と QFDE の比較

IC パッケージ BGA について、(1) の QFD で得られたコンポーネントの相対的重要度と (2) の QFDE で得られたコンポーネントの相対的重要度の結果を**図 5.2-2** に示す。QFD では、重要な部品は、a. ヒートシンク（銅）、b. 基材（エポキシ）、c. 内部配線（銅）の順だったが、QFDE ではヒートシンク（銅）の重要度は減少し、重要な部品は、a. 基材（エポキシ）、b. 絶縁樹脂（エポキシ）、c. 内部配線（銅）の順となった。

■ 図 5.2-2　QFD と QFDE の比較

→図 4.2-2 に相当

（2）QFDE フェーズⅢ、Ⅳ

ここでは、フェーズ I、II の結果を踏まえて、時間的・コスト的に実現可能な範囲で設計変更するものと仮定して行う。

① 改善案 I

改善案 I では、以下の改善を同時に行った。フェーズ III のテーブルを**表 5.2-6** に示す。

- ○ ボンディングワイヤー（金）に高ヤング率ワイヤーを採用し、「機械的寿命」の改善を行う。
- ○ 外部端子（はんだ）に鉛フリーはんだを採用し、「土壌汚染物質量」の改善を行う。
- ○ 絶縁樹脂（エポキシ）について溶剤種の変更で「素材の有毒性・有害性」の改善を行う。
- ○ ヒートシンク（銅）に対して最適の厚さを検討することで、「質量、重量」の改善を行う。

→ p.106 ～ 107 の手続き

■ 表 5.2-6　案Ⅰのフェーズ Ⅲのテーブル

改善案Ⅰ QFDE フェーズⅢ 工学的尺度	コンポーネント 内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ）	基材（エポキシ）	ヒートシンク（銅）		工学的尺度の改善率
放熱性							0	0.00
高周波特性							0	0.00
端子密度							0	0.00
質量、重量						3	3	0.18
体積							0	0.00
部品点数							0	0.00
材料種別数							0	0.00
汚れ							0	0.00
硬度							0	0.00
機械的寿命		9					9	0.30
消費エネルギー量							0	0.00
リサイクル材の使用率							0	0.00
騒音・振動・電磁波							0	0.00
大気汚染物質量							0	0.00
水質汚濁物質量							0	0.00
土壌汚染物質量			9				9	0.43
生分解性							0	0.00
素材の有毒性・有害性				9			9	0.30

→表 4.2-11 に相当

フェーズ Ⅳの結果を**表 5.2-7** に示す。

■ 表 5.2-7　案ⅠのフェーズⅣの結果

改善案Ⅰ QFDE フェーズⅣ		工学的尺度																			
顧客要求	顧客重要度	放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	汚れ	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	大気汚染物質量	水質汚濁物質量	土壌汚染物質量	生分解性	素材の有毒・有害性	顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
端子密度が高い	1	1	3	9	3	3					1			1						0.04	0.04
小型である	3	1	1	3	3	9	3				1	3		1	1	1	1	1	1	0.05	0.16
放熱性がよい	1	9	1	3	1	3	1	1			9									0.10	0.10
IC チップの保護性が優れている	9	9	9	1						1	9			3					1	0.09	0.82
軽量である	3	1	1	3	9	3	3			1	1	3		1	1	1	1	1	1	0.08	0.25
(PKG 本体の）信頼性が高い	9	3	3	3			1	1	1	1	9			3						0.11	0.97
高周波特性に優れている	1	3	9	3				1			1			9						0.01	0.01
素材使用を低減したい	1	3	1	3	9	9	9	9				9	9		9	9	9	9	9	0.08	0.08
簡単に運搬・保管したい	1			3																0.00	0.00
加工・組み立てをしやすくしたい	1	1	1	1			9					1								0.00	0.00
消費エネルギーを少なくしたい	9			3	1	1						9								0.01	0.11
壊れにくくしたい	9	9	9						1	1										0.00	0.00
再利用しやすくしたい	1		1	1																0.00	0.00
分解しやすくしたい	1	1	1	1	1	1	9	9				3								0.01	0.01
洗浄しやすくしたい	1								1			1								0.00	0.00
破砕しやすくしたい	3	1	1	1	1	1	9	1		9		9								0.01	0.02
分別・選別しやすくしたい	3	1	1	1	1	1		9				3							3	0.04	0.11
安全焼却したい	1	3	1		1	1		3							9	3	3	3	9	0.12	0.12
安全埋め立てしたい	3	1	1		1	1		3							3	9	9	9	9	0.15	0.44
生活環境を守りたい	9	1	1		1	1				3				1	1	1	1	1	9	0.16	1.42
排出物を処理しやすくしたい	1	3	1	1	9	9						9			9	9	9	9	9	0.11	0.11
捨てるときに気を使わないようにしたい	3	1	1		1	1							3						9	0.18	0.54
工学的尺度の改善率		0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.30	1.33	5.30

→表 4.2-13 に相当

② 改善案Ⅱ

改善案Ⅱでは、以下の改善を同時に行った。フェーズ III のテーブルを表 5.2-8 に示す。

○ 外部端子（はんだ）について、鉛フリーはんだ成分の検討で「機械的寿命」の改善を行う。

○ 絶縁樹脂（エポキシ）にハロゲンフリー樹脂を採用し、「大気汚染物質量」の改善を行う。

○ 基材（エポキシ）にハロゲンフリー樹脂を採用し、「大気汚染物質量」

の改善を行う。

○ ヒートシンク（銅）に対して材料種の検討をすることで「放熱性」の改善を行う。

→ p.95 〜 96 の手続き

表 5.2-8 案Ⅱのフェーズ Ⅲのテーブル

改善案Ⅱ QFDE フェーズⅢ / 工学的尺度	内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ）	基材（エポキシ）	ヒートシンク（銅）		工学的尺度の改善率
	コンポーネント							
放熱性						9	9	0.45
高周波特性							0	0.00
端子密度							0	0.00
質量、重量							0	0.00
体積							0	0.00
部品点数							0	0.00
材料種別数							0	0.00
汚れ							0	0.00
硬度							0	0.00
機械的寿命			3				3	0.10
消費エネルギー量							0	0.00
リサイクル材の使用率							0	0.00
騒音・振動・電磁波							0	0.00
大気汚染物質量				9	9		18	1.00
水質汚濁物質量							0	0.00
土壌汚染物質量							0	0.00
生分解性							0	0.00
素材の有毒性・有害性							0	0.00

→表 4.2-12 に相当

フェーズ Ⅳの結果を**表 5.2-9** に示す。

③ 案の比較

改善案Ⅰ・Ⅱに対して**フェーズⅣ**で求めた「顧客要求に対する改善率」と「顧客要求に対する改善効果」の結果を**表 5.2-10** に示した。「顧客要求に対する改善率」は、改善案Ⅰでは 1.33、改善案Ⅱでは 1.58 となり、「顧客要求に対する改善効果」は、改善案Ⅰでは 5.30、改善案Ⅱでは 6.15 となった。いずれも改善案Ⅱの方が、変更効果が大きく、改善効果があることが分かった。

→ p.115 の手続き

■ 表 5.2-9　案ⅡのフェーズⅣの結果

改善案Ⅱ QFDE フェーズⅣ		工学的尺度																			
顧客要求	顧客重要度	放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	汚れ	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	大気汚染物質量	水質汚濁物質量	土壌汚染物質量	生分解性	素材の有毒性・有害性	顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
端子密度が高い	1	1	3	9	3	3					1			1						0.03	0.03
小型である	3	1	1	3	3	9	3				1	3		1	1	1	1	1	1	0.05	0.16
放熱性がよい	1	9	1	3	1	3	1	1			9									0.18	0.18
IC チップの保護性が	9	9	9	1						1	9			3					1	0.15	1.35
軽量である	3	1	1	3	9	3	3			1	1	3		1	1	1	1	1	1	0.05	0.15
(PKG 本体の）信頼性が高い	9	3	3	3			1	1	1	1	9			3						0.09	0.81
高周波特性に優れている	1	3	9	3				1			1			9						0.06	0.06
素材使用を低減したい	1	3	1	3	9	9	9	9				9	9		9	9	9	9	9	0.10	0.10
簡単に運搬・保管したい	1			3																0.00	0.00
加工・組み立てをしやすくしたい	1	1	1	1			9					1								0.03	0.03
消費エネルギーを少なくしたい	9			3	1	1						9								0.00	0.00
壊れにくくしたい	9	9	9						1	1										0.20	1.82
再利用しやすくしたい	1		1	1																0.00	0.00
分解しやすくしたい	1	1	1	1	1	1	9	9				3								0.02	0.02
洗浄しやすくしたい	1								1			1								0.00	0.00
破砕しやすくしたい	3	1	1	1	1	1		1		9		9								0.02	0.06
分別・選別しやすくしたい	3	1	1	1	1	1	9	9				3							3	0.02	0.05
安全焼却したい	1	3	1		1	1		3							9	3	3	3	9	0.29	0.29
安全埋め立てしたい	3	1	1		1	1		3							3	9	9	9	9	0.08	0.23
生活環境を守りたい	9	1	1		1	1				3				1	1	1	1	1	9	0.07	0.62
排出物を処理しやすくしたい	1	3	1	1	9	9						9			9	9	9	9	9	0.13	0.13
捨てるときに気を使わないようにしたい	3	1	1		1	1							3						9	0.03	0.08
工学的尺度の改善率		0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.58**	**6.15**

→表 4.2-14 に相当

■ 表 5.2-10　改善案Ⅰ・Ⅱの設計変更効果

設計変更効果	改善案Ⅰ	改善案Ⅱ
顧客要求に対する改善率	1.33	1.58
顧客要求に対する改善効果	5.30	6.15

5.2.4 全部門用 QFDE の適用

(1) 対象部門と参加者

ここでは設計部門（顧客の要望を製品製造に反映する部門）の他に、購買部門（原材料や部品の購買部門）、生産部門（製品の製造部門）、配送部門（原材料や製品の配送・回収部門）が参加して実施した。

全部門用 QFDE における展開には部門としては含めなかったが、検討には研究部門の人も参加した。具体的には設計部門 1 名、生産部門（製造部門と生産・配送部門）1 名、購買部門（材料や部品等の購入部門）1 名と研究所 1 名の 4 名にて実施した。

(2) QFDE フェーズ 0b・Ib

ここでは、フェーズ 0b と Ib に従った。環境問題は、マスコミによる報道や社内の ISO14001 環境マネジメントシステム教育などで一般的知識としてあったため、環境問題と DfE チェックリストとの関連性では、身近な問題から地球規模の問題まで幅広く検討した。DfE チェックリストの項目の理解に部門間で相違がないように、それぞれの具体例を検討した。フェーズ 0b の結果を**表 5.2-11** に示す。

■ 表 5.2-11　フェーズ 0b の結果

チェックリスト		1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減		
環境問題	重要度	1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2（運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減
オゾン層の破壊	3	1								
地球温暖化	9	3			3	3		1	1	
酸性雨	3	3				3		1	1	
熱帯林の減少	1		3	1	1					
砂漠化	1		1							
野生生物種の減少	1	3								
総得点		42	4	1	28	36	0	12	12	0
相対的重要度		0.05	0.01	0.00	0.04	0.05	0.00	0.02	0.02	0.00

チェックリスト	3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減			
環境問題	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減
オゾン層の破壊												3	
地球温暖化	9	3	9	3	3			1	3	3			3
酸性雨	3	1	3	3	3			9	3	3			3
熱帯林の減少						1	1						1
砂漠化								1	1				1
野生生物種の減少	3			1	1								
総得点	93	30	90	37	37	1	1	37	37	36	0	9	38
相対的重要度	0.12	0.04	0.12	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.05

チェックリスト	6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化									
環境問題	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示
オゾン層の破壊	1						3			3				3
地球温暖化	3		1	3				3	3					
酸性雨	3		1	1				1	1					
熱帯林の減少						3	3							
砂漠化						1	1							
野生生物種の減少				1					1			3	9	1
総得点	39	0	12	31	0	4	13	30	31	9	0	3	9	10
相対的重要度	0.05	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.02	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01

→表 4.3-11 に相当

(3) QFDE フェーズ Ib

部門ごとに DfE チェックリストの項目と工学的尺度の関連度を検討した。複数部門に重複する DfE チェックリストの項目は、最後の段階で関連度を見直した。フェーズ Ib の結果を**表 5.2-12** に示す。

→表 4.3-13 に相当

■ 表 5.2-12　フェーズ Ib の結果

チェックリスト ＼ 工学的尺度		相対的重要度	設計部門														購買部門							製造部門									配送部門					
			放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の材料種別数	購買品の納期	購買品の納入数	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の製品歩留まり	製造時間	製造時の原材料使用量	製造装置の運転性とメンテナンス性	製造時の薬液寿命	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の製品等の積載率	配送・回収時間	配送・回収時の待機時間	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材	0.05		1	1				3						9		3				3																	
	1.2 非枯渇性資源の利用	0.01	3		1								3				1						3	1				1										
	1.3 再生された素材の利用	0.00	1										9										9															
	1.4 再生容易な原料	0.04	1					3	9																													
	1.5 低いエネルギー含有素材	0.05						1	1		3						1			3																		
	1.6 加工容易性の高い素材	0.00	3																										1	3								
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減	0.02	1			9											1			1													1			1		
	2.2（運搬時）体積の低減	0.02					9										1	1	3														9			3		1
	2.3 材料の種類数の低減	0.00		1				3	9						3		9	3	3							1			3									
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術	0.12															1							1	3	1	3	1	3	3	9	3						
	3.2 より少ない生産手順	0.04															3	1	1					1	3	3	3	1	3									
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.12																1	1					3	3		3	3	3									
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	0.05																	1					3		3	1	9			9	1						
	3.5 より少ない生産廃棄物	0.05																1	1					9		3	3	3				9						
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	0.00																																				3
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	0.00																																				9
	4.3 環境影響の低い運搬手段	0.05																															3			3	9	
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	0.05																															1	3	1	9	3	
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	0.05			3							9																										
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	0.00														3																						
	5.3 環境への排出物の低減	0.01	1	1										3	3	1																						
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	0.05			3							3				1																						
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性	0.05	9	9					3	3	9																											
	6.2 容易な保全と修復	0.00									1																											
	6.3 モジュラーな製品構造	0.02	1					3	3		3																1											
	6.4 製品とユーザーの強い関係	0.04	9	9	9																								9							9		
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用	0.00									3																											
	7.2 部品の再利用	0.01	9	1	1						3												1															1
	7.3 素材の再生	0.02																					1					3										
	7.4 環境影響の低い回収手段	0.04																															1	3		3		
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	0.04																															3	9	3	3		
	7.6 製品の分解性	0.01	1					3	3	1																												
	7.7 素材の破砕性	0.00																																				
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	0.00													3																							
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	0.01													9																							
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	0.01																					3					3										3
総得点			0.97	0.89	0.71	0.14	0.14	0.24	0.77	0.16	0.66	0.57	0.03	0.03	0.64	0.06	0.48	0.22	0.30	0.16	0.16	0.00	0.09	1.09	0.83	0.52	1.03	1.18	1.19	0.36	1.52	0.84	0.51	0.62	0.17	1.24	0.58	0.08
相対的重要度(部門内)			0.16	0.15	0.12	0.02	0.02	0.04	0.13	0.03	0.11	0.09	0.00	0.01	0.11	0.01	0.34	0.16	0.21	0.11	0.12	0.00	0.06	0.13	0.10	0.06	0.12	0.14	0.14	0.04	0.18	0.10	0.16	0.20	0.05	0.39	0.18	0.02
相対的重要度(全社内)			0.05	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.02	0.08	0.04	0.03	0.03	0.01	0.06	0.03	0.00

フェーズ Ib の結果、設計部門では「放熱性」、購買部門では「購買品の材料種別数」、生産部門では「製造時の有害物質使用量」、配送部門では「配送・回収時の消費エネルギー量」が、各々最も重要な工学的尺度であることがわかった。

(4) QFDE フェーズⅡ

各部門で PC を整理した。生産部門では大まかな薬品・消耗品種が異なる工程（ライン）そのものを PC として扱って重み付けを実施した。

■ 表 5.2-13　フェーズ II の結果

	部品特徴 ＼ 工学的尺度	相対的重要度（部門内）	設計部門							購買部門							生産部門			配送部門	
			内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線形成ライン	配線板製造ライン	組立てライン	トラック	トレイ・パレット
設計部門	放熱性	0.16	3	1	1	3	3	9													
	高周波特性	0.15	3	3	3	3	3	1													
	端子密度	0.12	9	3	9	3	1	1													
	質量、重量	0.02	1	1		3	9	3	1												
	体積	0.02	1	1		3	9	3	3												
	部品点数	0.04				1	1														
	材料種別数	0.13				1	1														
	硬度	0.03	3	3		3	3														
	機械的寿命	0.11	9	9	3	3	3	3													
	使用時の消費エネルギー量	0.09	1																		
	リサイクル材の使用率	0.00		3			1	1	9												
	騒音・振動・電磁波	0.01	3			3															
	製品に含まれる有害物質量	0.11	3	3	9	9	3	3													
	使用時の廃棄物排出量	0.01							1												
購買部門	購買品の材料種別数	0.34								3	1	1	3	3	1	1					
	購買品の納期	0.16								3	1	1	3	3	1	1					
	購買品の納入数	0.21								3	1	1	1	3	1	1					
	購買品の製造時の消費エネルギー量	0.11								3	3	3	3	3	1						
	購買品の製造時の有害物質使用量	0.12								3		9	9	3							
	購買品の製造時の廃棄物排出量	0.00								9	3	3	3	3							
	購買品のリサイクル材の使用率	0.06									9	3			9	9					
生産部門	製造時の製品歩留り	0.13															9	9	3		
	製造時間	0.10															9	3	3		
	製造時の原材料使用量	0.06															9	9	1		
	製造装置の運転性とメンテナンス性	0.12															3	3	1		
	製造時の薬液寿命	0.14															9				
	製造時の消費エネルギー量	0.14															9	9	3		
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	0.04															3	3	1		
	製造時の有害物質使用量	0.18															9	9	1		
	製造時の廃棄物排出量	0.10															9	9	3		
配送部門	配送・回収時の製品等の積載率	0.16																		9	
	配送・回収時間	0.20																		3	
	配送・回収時の待機時間	0.05																		1	
	配送・回収時の消費エネルギー量	0.39																		9	
	配送・回収時の有害物質排出量	0.18																		3	
	配送・回収時の廃棄物排出量	0.02																			1
総得点			3.54	2.41	2.96	2.98	2.37	2.51	0.14	2.81	1.61	2.27	3.08	2.81	1.38	1.27	8.02	6.20	1.78	6.11	0.02
相対的重要度（部門内）			0.21	0.14	0.18	0.18	0.14	0.15	0.01	0.18	0.11	0.15	0.20	0.18	0.09	0.08	0.50	0.39	0.11	1.00	0.00

→表 4.3-7 に相当

フェーズⅡの結果、設計部門では「内部配線」、購買部門では「絶縁樹脂」、生産部門では「内部配線形成ライン」が、各々最も重要なコンポーネントであることがわかった。

（5）QFDE フェーズⅢ、IVb、V

ここでは、フェーズⅠ、Ⅱの結果を踏まえて、複数の改善案に対して改善効果を把握するために本フェーズを実施した。具体的には、既に過去に実施済のものを改善案Ⅰ、今後実施することを検討中のものを改善案Ⅱとして行った。2つの案の比較は目的としていない。

①改善案 I

改善案Ⅰでは、以下の改善を同時に行った。フェーズⅢのテーブルを**表5.2- 14** に示す。

1. ボンディングワイヤー（金）：機械的寿命の改善【高ヤング率ワイヤーの採用】
2. 外部端子（はんだ）：土壌汚染物質量の改善【鉛フリーはんだの採用】
3. 絶縁樹脂（エポキシ樹脂）：素材の有害有毒性の改善【溶剤種の変更】
4. ヒートシンク（銅）：質量・重量の改善【最適厚さの検討】

複数部門にまたがった場合には、工場の川上部門で改善できる項目があれば環境負荷低減効果は大きくなるので，今回は基本的には川上部門で改善を行うものとした。

■ 表 5.2-14　案 I のフェーズ III のテーブル

工学的尺度 ＼ 部品特徴		設計部門							購買部門							生産部門			配送部門		
		内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線形成ライン	配線板製造ライン	組立てライン	トラック	トレイ・パレット	工学的尺度の改善率
設計部門	放熱性																				0.00
	高周波特性																				0.00
	端子密度																				0.00
	質量、重量						3														0.17
	体積																				0.00
	部品点数																				0.00
	材料種別数																				0.00
	硬度																				0.00
	機械的寿命		9																		0.30
	使用時の消費エネルギー量																				0.00
	リサイクル材の使用率																				0.00
	騒音・振動・電磁波																				0.00
	製品に含まれる有害物質量			9																	0.30
	使用時の廃棄物排出量																				0.00
購買部門	購買品の材料種別数																				0.00
	購買品の納期																				0.00
	購買品の納入数																				0.00
	購買品の製造時の消費エネルギー量																				0.00
	購買品の製造時の有害物質使用量											9									0.38
	購買品の製造時の廃棄物排出量																				0.00
	購買品のリサイクル材の使用率																				0.00
生産部門	製造時の製品歩留り																				0.00
	製造時間																				0.00
	製造時の原材料使用量																				0.00
	製造装置の運転性とメンテナンス性																				0.00
	製造時の薬液寿命																				0.00
	製造時の消費エネルギー量																				0.00
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波																				0.00
	製造時の有害物質使用量																				0.00
	製造時の廃棄物排出量																				0.00
配送部門	配送・回収時の製品等の積載率																				0.00
	配送・回収時間																				0.00
	配送・回収時の待機時間																				0.00
	配送・回収時の消費エネルギー量																				0.00
	配送・回収時の有害物質排出量																				0.00
	配送・回収時の廃棄物排出量																				0.00

→表 4.3-8 に相当

フェーズ IVb の結果を**表 5.2-15** に示す。

■ 表 5.2-15　案 I のフェーズ IVb の結果

チェックリスト	工学的尺度	設計部門														購買部門							製造部門									配送部門						
		放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の材料種別数	購買品の納期	購買品の納入数	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の製品歩留まり	製造時間	製造時の原材料使用量	製造装置の運転性とメンテナンス性	製造時の薬液寿命	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の製品等の積載率	配送・回収時間	配送・回収時の待機時間	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量	チェックリスト項目の改善率
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材		1	1				3						9		3				3																		0.19
	1.2 非枯渇性資源の利用	3		1								3				1						3	1				1											0.00
	1.3 再生された素材の利用	1										9										9																0.00
	1.4 再生容易な原料	1					3	9																														0.00
	1.5 低いエネルギー含有素材						1	1		3						1			3																			0.10
	1.6 加工容易性の高い素材	3																										1	3									0.00
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減	1			9											1			1													1			1			0.11
	2.2 （運搬時）体積の低減					9										1	1	3														9			3		1	0.00
	2.3 材料の種類数の低減		1				3	9						3		9	3	3							1			3										0.03
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術															1							1	3	1	3	1	3	3	9	3							0.00
	3.2 より少ない生産手順															3	1	1					1	3	3	3	1	3										0.00
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費																1	1					3	3		3	3	3										0.00
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品																	1					3		3	1	9			9	1							0.00
	3.5 より少ない生産廃棄物																1	1					9		3	3	3				9							0.00
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装																																				3	0.00
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装																																				9	0.00
	4.3 環境影響の低い運搬手段																															3			3	9		0.00
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定																															1	3	1	9	3		0.00
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費			3							9																											0.00
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品														3																							0.00
	5.3 環境への排出物の低減	1	1										3	3	1											1												0.10
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減			3							3				1													9										0.00
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性	9	9					3	3	9																												0.08
	6.2 容易な保全と修復									1																												0.30
	6.3 モジュラーな製品構造	1					3	3		3																												0.08
	6.4 製品とユーザーの強い関係	9	9	9																															9			0.00
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用									3																												0.30
	7.2 部品の再利用	9	1	1						3												1															1	0.06
	7.3 素材の再生																					1					3											0.00
	7.4 環境影響の低い回収手段																															1	3		3			0.00
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定																															3	9	3	3			0.00
	7.6 製品の分解性	1					3	3	1																													0.00
	7.7 素材の破砕性																																					0.00
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）													3																								0.30
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性													9																								0.30
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示																					3					3										3	0.00
工学的尺度の改善率		0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

→表 4.3-14 に相当

フェーズⅤbの結果を**表 5.2-16** に示す。

■ 表 5.2-16　案ⅠのフェーズⅤbの結果

チェックリスト ＼ 環境問題		1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減			3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減				6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化											
	重要度	1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2（運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	環境問題の改善率	環境問題の改善効果
オゾン層の破壊	3	1																				3		1						3			3				3	0.04	0.12
地球温暖化	9	3			3	3		1	1		9	3	9	3	3			1	3	3			3	3		1	3				3	3						0.02	0.19
酸性雨	3	3				3		1	1		3	1	3	3	3			9	3	3			3	3		1	1				1	1						0.03	0.09
熱帯林の減少	1		3	1	1											1	1						1						3	3								0.01	0.01
砂漠化	1		1															1	1				1						1	1								0.01	0.01
野生生物種の減少	1	3									3			1	1												1					1			3	9	1	0.18	0.18
チェックリスト項目の改善率		0.19	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.11	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.08	0.30	0.08	0.00	0.30	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	0.00		
改善効果の合計値																																							0.60

→表 4.3-15 に相当

②改善案Ⅱ

改善案Ⅱでは、以下の改善を同時に行った。フェーズⅢのテーブルを**表 5.2-17** に示す。

1. 外部端子（はんだ）：機械的寿命の改善【鉛フリーはんだ成分の検討】
2. 絶縁樹脂（エポキシ樹脂）：大気汚染物質量の改善【ハロゲンフリー樹脂の採用】
3. 基材（エポキシ樹脂）：大気汚染物質量の改善【ハロゲンフリー樹脂の採用】
4. ヒートシンク（銅）：放熱性の改善【材料種の検討】

■ 表 5.2-17　案 II のフェーズ III のテーブル

	PC EM	設計部門							購買部門							生産部門			配送部門		
		内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線（銅）	ボンディングワイヤー（金）	外部端子（はんだ）	絶縁樹脂（エポキシ樹脂）	基材（エポキシ樹脂）	ヒートシンク（銅）	梱包材	内部配線形成ライン	配線板製造ライン	組立てライン	トラック	トレイ・パレット	EMの改善率
設計部門	放熱性						9														0.45
	高周波特性																				0.00
	端子密度																				0.00
	質量、重量																				0.00
	体積																				0.00
	部品点数																				0.00
	材料種別数																				0.00
	硬度																				0.00
	機械的寿命			3																	0.10
	使用時の消費エネルギー量																				0.00
	リサイクル材の使用率																				0.00
	騒音・振動・電磁波																				0.00
	製品に含まれる有害物質量																				0.00
	使用時の廃棄物排出量																				0.00
購買部門	購買品の材料種別数																				0.00
	購買品の納期																				0.00
	購買品の納入数																				0.00
	購買品の製造時の消費エネルギー量																				0.00
	購買品の製造時の有害物質使用量											9	3								0.50
	購買品の製造時の廃棄物排出量																				0.00
	購買品のリサイクル材の使用率																				0.00
生産部門	製造時の製品歩留り																				0.00
	製造時間																				0.00
	製造時の原材料使用量																				0.00
	製造装置の運転性とメンテナンス性																				0.00
	製造時の薬液寿命																				0.00
	製造時の消費エネルギー量																				0.00
	製造時に放出される騒音・振動・電磁波																				0.00
	製造時の有害物質使用量																				0.00
	製造時の廃棄物排出量																				0.00
配送部門	配送・回収時の製品等の積載率																				0.00
	配送・回収時間																				0.00
	配送・回収時の待機時間																				0.00
	配送・回収時の消費エネルギー量																				0.00
	配送・回収時の有害物質排出量																				0.00
	配送・回収時の廃棄物排出量																				0.00

→表 4.3-8 に相当

フェーズ IVb の結果を**表 5.2-18** に示す。

■ 表 5.2-18　案 II のフェーズ IVb の結果

チェックリスト	EM	設計部門														購買部門							製造部門									配送部門						チェックリストの改善率
		放熱性	高周波特性	端子密度	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	使用時の消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	製品に含まれる有害物質量	使用時の廃棄物排出量	購買品の材料種別数	購買品の納期	購買品の納入数	購買品の製造時の消費エネルギー量	購買品の製造時の有害物質使用量	購買品の製造時の廃棄物排出量	購買品のリサイクル材の使用率	製造時の製品歩留まり	製造時間	製造時の原材料使用量	製造装置の運転性とメンテナンス性	製造時の薬液寿命	製造時の消費エネルギー量	製造時に放出される騒音・振動・電磁波	製造時の有害物質使用量	製造時の廃棄物排出量	配送・回収時の製品等の積載率	配送・回収時間	配送・回収時の待機時間	配送・回収時の消費エネルギー量	配送・回収時の有害物質排出量	配送・回収時の廃棄物排出量	
1 低環境影響素材の選択	1.1 有毒性有害性のない素材		1	1				3						9		3				3																		0.08
	1.2 非枯渇性資源の利用	3		1								3				1						3	1				1											0.10
	1.3 再生された素材の利用	1										9										9																0.02
	1.4 再生容易な原料	1					3	9																														0.03
	1.5 低いエネルギー含有素材						1	1		3						1			3																			0.03
	1.6 加工容易性の高い素材	3																										1	3									0.19
2 素材使用の低減	2.1 重量の低減	1			9											1			1													1			1			0.03
	2.2 （運搬時）体積の低減					9										1	1	3														9			3		1	0.00
	2.3 材料の種類数の低減		1				3	9						3		9	3	3							1			3										0.00
3 生産技術の最適化	3.1 環境影響の低い生産技術															1							1	3	1	3	1	3	3	9	3							0.00
	3.2 より少ない生産手順															3	1	1					1	3	3	3	1	3										0.00
	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費																1	1					3	3		3	3	3										0.00
	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品																	1					3		3	1	9			9	1							0.00
	3.5 より少ない生産廃棄物																1	1					9		3	3	3				9							0.00
4 配送システムの最適化	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装																																				3	0.00
	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装																																				9	0.00
	4.3 環境影響の低い運搬手段																															3			3	9		0.00
	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定																															1	3	1	9	3		0.00
5 使用時の環境影響の低減	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費			3							9																											0.00
	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品														3																							0.00
	5.3 環境への排出物の低減	1	1										3	3	1																							0.05
	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減			3							3				1																							0.00
6 寿命の最適化	6.1 高い信頼性と耐久性	9	9					3	3	9																												0.15
	6.2 容易な保全と修復									1																												0.10
	6.3 モジュラーな製品構造	1					3	3		3																1												0.07
	6.4 製品とユーザーの強い関係	9	9	9																								9							9			0.09
7 寿命終了時のシステムの最適化	7.1 製品の再利用									3																												0.10
	7.2 部品の再利用	9	1	1						3												1															1	0.27
	7.3 素材の再生																					1					3											0.00
	7.4 環境影響の低い回収手段																															1	3		3			0.00
	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定																															3	9	3	3			0.00
	7.6 製品の分解性	1					3	3	1																													0.06
	7.7 素材の破砕性																																					0.00
	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）													3																								0.00
	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性													9																								0.00
	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示																					3					3										3	0.00
EMの改善率		0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

→表 4.3-14 に相当

フェーズ Vb の結果を**表 5.2-19** に示す。

■ 表 5.2-19　案 II のフェーズ Vb の結果

チェックリスト／環境問題		1 低環境影響素材の選択						2 素材使用の低減			3 生産技術の最適化					4 配送システムの最適化				5 使用時の環境影響の低減				6 寿命の最適化				7 寿命終了時のシステムの最適化											
	重要度	1.1 有毒性有害性のない素材	1.2 非枯渇性資源の利用	1.3 再生された素材の利用	1.4 再生容易な原料	1.5 低いエネルギー含有素材	1.6 加工容易性の高い素材	2.1 重量の低減	2.2 （運搬時）体積の低減	2.3 材料の種類数の低減	3.1 環境影響の低い生産技術	3.2 より少ない生産手順	3.3 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	3.4 より少ない／環境影響の低い生産消耗品	3.5 より少ない生産廃棄物	4.1 より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装	4.2 再利用可能／再生利用可能な包装	4.3 環境影響の低い運搬手段	4.4 エネルギー効率の良い運搬ルートの設定	5.1 より少ない／環境影響の低いエネルギー消費	5.2 より少ない／環境影響の低い消耗品	5.3 環境への排出物の低減	5.4 エネルギー、消耗品の浪費の低減	6.1 高い信頼性と耐久性	6.2 容易な保全と修復	6.3 モジュラーな製品構造	6.4 製品とユーザーの強い関係	7.1 製品の再利用	7.2 部品の再利用	7.3 素材の再生	7.4 環境影響の低い回収手段	7.5 エネルギー効率の良い回収ルートの設定	7.6 製品の分解性	7.7 素材の破砕性	7.8 安全な焼却（エネルギー回復）	7.9 製品の残余の埋め立てにおける安全性	7.10 素材の組成や廃棄方法の表示	環境問題の改善率	環境問題の改善効果
オゾン層の破壊	3	1																				3		1						3			3				3	0.04	0.12
地球温暖化	9	3			3	3		1	1		9	3	9	3	3			1	3	3			3	3		1	3				3	3						0.02	0.18
酸性雨	3	3				3		1	1		3	1	3	3	3			9	3	3			3	3		1	1				1	1						0.02	0.06
熱帯林の減少	1		3	1	1											1	1						1						3	3								0.08	0.08
砂漠化	1		1															1	1				1						1	1								0.06	0.06
野生生物種の減少	1	3									3			1	1												1					1	1		3	9	1	0.01	0.01
チェックリストの改善率		0.08	0.10	0.02	0.03	0.03	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.15	0.10	0.07	0.09	0.10	0.27	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00		
改善効果の合計値																																							0.52

→表 4.3-15 に相当

③効果の把握

改善案Ⅰに対してフェーズVbで求めた「環境問題の改善率」を見ると、改善案Ⅰでは「野生生物種の減少」に大きく効くことが示されている。これは、DfEチェックリスト「7.9製品の残余の埋め立てにおける安全性」との関連度が9と大きく与えられていることに起因している(注4)。改善案Ⅱでは「熱帯林の減少」と「砂漠化」に大きく効くことが示されている。これは「7.2部品の再利用」や「1.2非枯渇性資源の利用」との関連度が大きいからである。

「環境問題に対する改善効果」の結果を以下に示した。改善案Ⅰでは0.60、改善案Ⅱでは0.52となった。

■表5.2-20　改善案Ⅰ・Ⅱの効果

設計変更効果	改善案Ⅰ	改善案Ⅱ
環境問題に対する改善効果	0.60	0.52

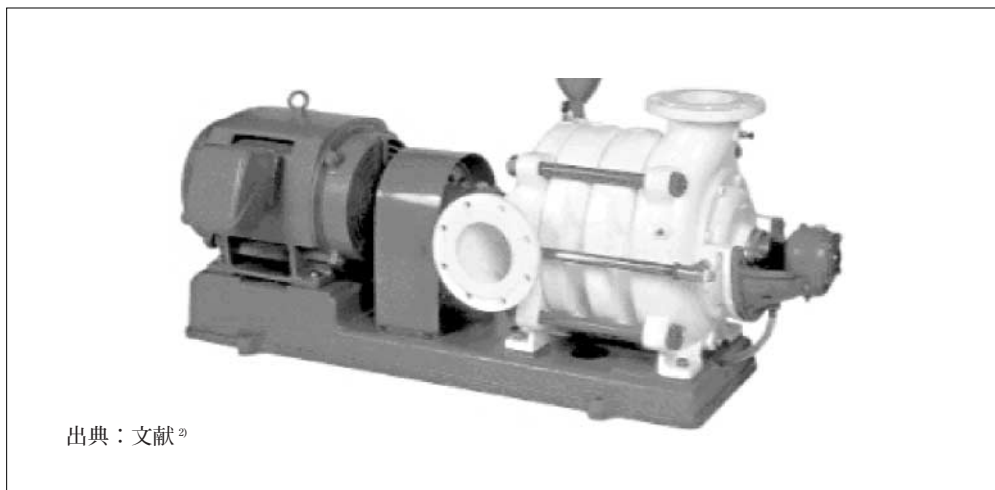
(注4) 環境白書に記述されている「野生生物種の減少」は希少な生物種の狩猟などによるものですから、本来の「野生生物種の減少」を汲み取れば、この関連度の9は見直される方が良いだろう。

5.3 産業用ポンプへの設計部門用 QFDE の適用

5.3.1 対象製品と適用結果

5.3 で対象とした製品は、産業用ポンプである。産業用ポンプは、ボイラ、消火などの用途に揚水、散水を行うためのものである。ここでは、参考文献 [1)~3)] に基づき、設計部門用 QFDE を適用した結果の概略を説明する。

■ 図 5.3-1　対象製品の外観

出典：文献 [2)]

フェーズⅠの結果を**表 5.3-1** に示す。顧客重要度は、その重要性を鑑みた上で 0、1、3、6、9 の 5 段階で設定している。関連度（要求と工学的尺度の関連性の強さ）についても 0、1、3、6、9 の 5 つから選んで設定している。「材質」、「CO_2 排出量」、「リサイクル率」、「最終処分量」が特に重要度が高い工学的尺度であるという結果になっている。

フェーズⅡの結果を**表 5.3-2** に示す。「ケーシングの素材」、「軸封の素材」、「羽根車の素材」、「羽根車の直径」、「ケーシングの段数」が特に重要度が高いという結果になっている。

■ 表 5.3-1　フェーズⅠの結果

QFDE フェーズⅠ		工学的尺度																											
顧客要求	顧客重要度	吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1				
固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1				
指定された流量で送液する	1	9	9		6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9										
排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1	
発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6					
冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6					
加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9														
50・60Hzで共用したい	3				6																1								
赤水を防止したい	9														3		9		1									1	
配管荷重に耐える	6																9		6										
配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9											
インラインで使用したい	6																						9	1					
原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6
小型、軽量化	6															9	9				6					6	1		
加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1
電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1	
潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1	
梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6															6	1	9			9				9		9		
据付性がよい	1															9	6						6	1					
騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9					
故障が少ない	9									6							6								0		0		
メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1
汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1
給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1
分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1
塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6	
稼働寿命が長い	9									1															6	1	9		
有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1
解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1		
	総得点	279	225	174	417	15	153	135	153	256	22	28	34	67	82	312	696	198	108	189	579	288	309	256	549	330	501	130	93
	相対的重要度	0.042	0.034	0.026	0.063	0.002	0.023	0.021	0.023	0.039	0.003	0.004	0.005	0.010	0.012	0.047	0.106	0.030	0.016	0.029	0.088	0.044	0.047	0.039	0.083	0.050	0.076	0.020	0.014

■ 表 5.3-2　フェーズⅡの結果

QFDE フェーズⅡ 工学的尺度	フェーズⅠの相対的重要度	コンポーネント																
		ケーシング			羽根車			軸径			軸受		軸封	ベース	電動機			
		段数	吸込口径	材料	羽根車直径	翼枚数	材料	軸径	軸剛性	材料	振動振幅	材料	材料	設置面積	回転数	絶縁階級	出力	各相電圧
吐出し量	0.04	1	9		3	3	1		1	1				1			1	
全揚程	0.03	9	3		9	3	1		1	1							1	
回転数	0.03				9	3	6		1	1					9		1	
効率	0.06	1	1		3	3	3								3		1	
比較回転数(比速度)	0		6		9	3		1							9			
吸込み圧力	0.02	3	9		3		1											
吐出し圧力	0.02	3	3		3		1											
NPSH	0.02		9		3	3	1											
シール部からの漏れ量	0.04							1					9					
揚液温度	0			3			3			6	3	6	6					
揚液密度	0			1	6	1							6				3	
揚液粘度	0.01			1	3	1					3		6				3	
蒸気圧力	0.01		9		1	3												
揚液の液質	0.01			9	3	3	9			9	3	9	9					
質量	0.05	9		3	3	3	3	6	3	6		1	1	6	6	6	6	
材質	0.11	3		9	3	3	9	6	9	9	3	9	9	3		6		
体積(全体サイズ)	0.03	9	6	6	9			6						9				
想定耐久時間	0.02			6			6			6	6	6	9					
切粉量	0.03	6		9	9	9	6	3	3									
CO_2排出量	0.09														9		9	3
揮発性有機化合物排出量	0.04														9		9	3
振動	0.05										9			1	1		1	
騒音	0.04										9				9		1	
リサイクル率	0.08	3	1	9	3	3	9			6			9					
分解時間	0.05	9	1	3	3	3	1			1		1	1	3		1	1	
最終処分量	0.08	3	0	6	6	3	3	1	0	3		3	6	0		0	0	
有害有毒性(発癌性)	0.02						3					3	9					
材料種別数	0.01	3		6	3		6		3	6			3	1				
	総得点	2.71	1.45	3.21	3.06	2.00	3.15	1.30	1.33	2.43	1.25	1.57	3.17	1.13	2.32	0.97	1.80	0.40
	相対的重要度	0.081	0.044	0.096	0.092	0.060	0.095	0.039	0.040	0.073	0.038	0.047	0.095	0.034	0.070	0.029	0.054	0.012

フェーズⅢでは、フェーズⅡの結果として「ケーシング」と「軸封」が重要なコンポーネントであることが判明したことから、以下の２つの案を設定した。

- 案１：「ケーシング」を中心に改善を行う

設計技術の中から、ケーシング部材を中心に部品統合を行って、ポンプ部の軽量･コンパクト化が図れるものと想定する。具体的には以下の６つの組み合わせが改善されるものとする。

①「ケーシング」の「質量」
②「ケーシング」の「体積」
③「ケーシング」の「リサイクル率」
④「ケーシング」の「分解時間」
⑤「ケーシング」の「最終処分量」
⑥「ケーシング」の「材料種別数」

改善案１のフェーズⅢ、フェーズⅣの結果を各々**表 5.3-3** と**表 5.3-4** に記す。

- 案２：「軸封」を中心に改善を行う

素材および生産技術の中から、軸封に改善が可能であると想定する。具体的にはグランドパッキンをメカニカルシール化することで、以下の３つの組み合わせが改善されるものとする。

①「軸封」の「シール部からの漏れ量」
②「軸封」の「材質」
③「軸封」の「想定耐久時間」

改善案２のフェーズⅢ、フェーズⅣの結果を各々**表 5.3-5** と**表 5.3-6** に記す。

■ 表 5.3-3　改善案 1 のフェーズIIIの結果

QFDE フェーズIII	コンポーネント																		
	ケーシング			羽根車			軸径			軸受		軸封	ベース	電動機					
工学的尺度	段数	吸込口径	材料	羽根車直径	翼枚数	材料	軸径	軸剛性	材料	振動振幅	材料	材料	設置面積	回転数	絶縁階級	出力	各相電圧		工学的尺度の改善率
吐出し量																		0	0.00
全揚程																		0	0.00
回転数																		0	0.00
効率																		0	0.00
比較回転数(比速度)																		0	0.00
吸込み圧力																		0	0.00
吐出し圧力																		0	0.00
NPSH																		0	0.00
シール部からの漏れ量																		0	0.00
揚液温度																		0	0.00
揚液密度																		0	0.00
揚液粘度																		0	0.00
蒸気圧力																		0	0.00
揚液の液質																		0	0.00
質量			3															3	0.05
材質																		0	0.00
体積(全体サイズ)			6															6	0.13
想定耐久時間																		0	0.00
切粉量																		0	0.00
CO_2排出量																		0	0.00
揮発性有機化合物排出量																		0	0.00
振動																		0	0.00
騒音																		0	0.00
リサイクル率			9															9	0.21
分解時間			3															3	0.11
最終処分量			6															6	0.18
有害有毒性(発癌性)																		0	0.00
材料種別数			6															6	0.19

■ 表 5.3-4　改善案 1 のフェーズⅣの結果

QFDE フェーズⅣ		工学的尺度																													
顧客要求	顧客重要度	吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数	顧客要求の改善率	顧客要求の改善効果
一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.003	0.027
粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
指定された流量で送液する	1	9	9		6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.003	0.003
キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9											0.000	0.000
排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1		0.000	0.000
発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6						0.000	0.000
冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6						0.000	0.000
加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9															0.000	0.000
50・60Hzで共用したい	3				6																1									0.000	0.000
赤水を防止したい	9														3		9		1									1		0.000	0.000
配管荷重に耐える	6																9		6											0.000	0.000
配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9												0.091	0.545
インラインで使用したい	6																						9	1						0.000	0.000
原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6	0.082	0.734
小型、軽量化	6															9	9				6					6	1			0.040	0.243
加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1	0.075	0.449
電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1		0.032	0.289
潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1		0.059	0.351
梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6															6	1	9			9				9		9			0.115	0.692
据付性がよい	1															9	6						6	1						0.020	0.020
騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9						0.002	0.011
故障が少ない	9									6							6								0		0			0.000	0.000
メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1	0.074	0.446
汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1	0.093	0.561
給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1	0.078	0.470
分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1	0.123	1.104
塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6		0.008	0.048
稼働寿命が長い	9									1															6	1	9			0.174	1.562
有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1	0.081	0.486
解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1			0.104	0.622
工学的尺度の改善率		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.11	0.18	0.00	0.19		

改善効果の合計値　8.7

■ 表 5.3-5　改善案 2 のフェーズIIIの結果

QFDE フェーズIII	ケーシング			羽根車			軸径			軸受		軸封	ベース	電動機					
工学的尺度	段数	吸込口径	材料	羽根車直径	翼枚数	材料	軸径	軸剛性	材料	振動振幅	材料	材料	設置面積	回転数	絶縁階級	出力	各相電圧		工学的尺度の改善率
吐出し量																		0	0.00
全揚程																		0	0.00
回転数																		0	0.00
効率																		0	0.00
比較回転数(比速度)																		0	0.00
吸込み圧力																		0	0.00
吐出し圧力																		0	0.00
NPSH																		0	0.00
シール部からの漏れ量												9						9	0.90
揚液温度																		0	0.00
揚液密度																		0	0.00
揚液粘度																		0	0.00
蒸気圧力																		0	0.00
揚液の液質																		0	0.00
質量																		0	0.00
材質												9						9	0.11
体積(全体サイズ)																		0	0.00
想定耐久時間												9						9	0.23
切粉量																		0	0.00
CO_2排出量																		0	0.00
揮発性有機化合物排出量																		0	0.00
振動																		0	0.00
騒音																		0	0.00
リサイクル率																		0	0.00
分解時間																		0	0.00
最終処分量																		0	0.00
有害有毒性(発癌性)																		0	0.00
材料種別数																		0	0.00

■ 表 5.3-6　改善案 2 のフェーズⅣの結果

QFDE フェーズⅣ / 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数	顧客要求の改善率	顧客要求の改善効果
一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.012	0.106
粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1					0.023	0.023
固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1					0.025	0.025
指定された流量で送液する	1	9	9		6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.013	0.013
キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9											0.048	0.145
排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1		0.000	0.000
発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6						0.013	0.116
冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6						0.106	0.953
加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9															0.000	0.000
50・60Hzで共用したい	3				6																1									0.000	0.000
赤水を防止したい	9														3		9		1									1		0.088	0.791
配管荷重に耐える	6																9		6											0.159	0.954
配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9												0.000	0.000
インラインで使用したい	6																						9	1						0.000	0.000
原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6	0.091	0.823
小型、軽量化	6															9	9				6					6	1			0.032	0.194
加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1	0.020	0.122
電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1		0.000	0.000
潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1		0.000	0.000
梱包材が削減できる(耐輸送振動など	6															6	1	9			9				9		9			0.003	0.016
据付性がよい	1															9	6						6	1						0.030	0.030
騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9						0.026	0.154
故障が少ない	9									6							6								0		0			0.506	4.550
メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1	0.110	0.662
汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1	0.119	0.716
給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1	0.021	0.128
分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1	0.000	0.000
塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6		0.073	0.438
稼働寿命が長い	9									1															6	1	9			0.053	0.476
有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1	0.037	0.224
解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1			0.030	0.182
工学的尺度の改善率		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

改善効果の合計値　11.8

設定した案1、2のうち、各々に対して求めた改善効果の合計値を以下に示す。

・改善案1：8.7
・改善案2：11.8

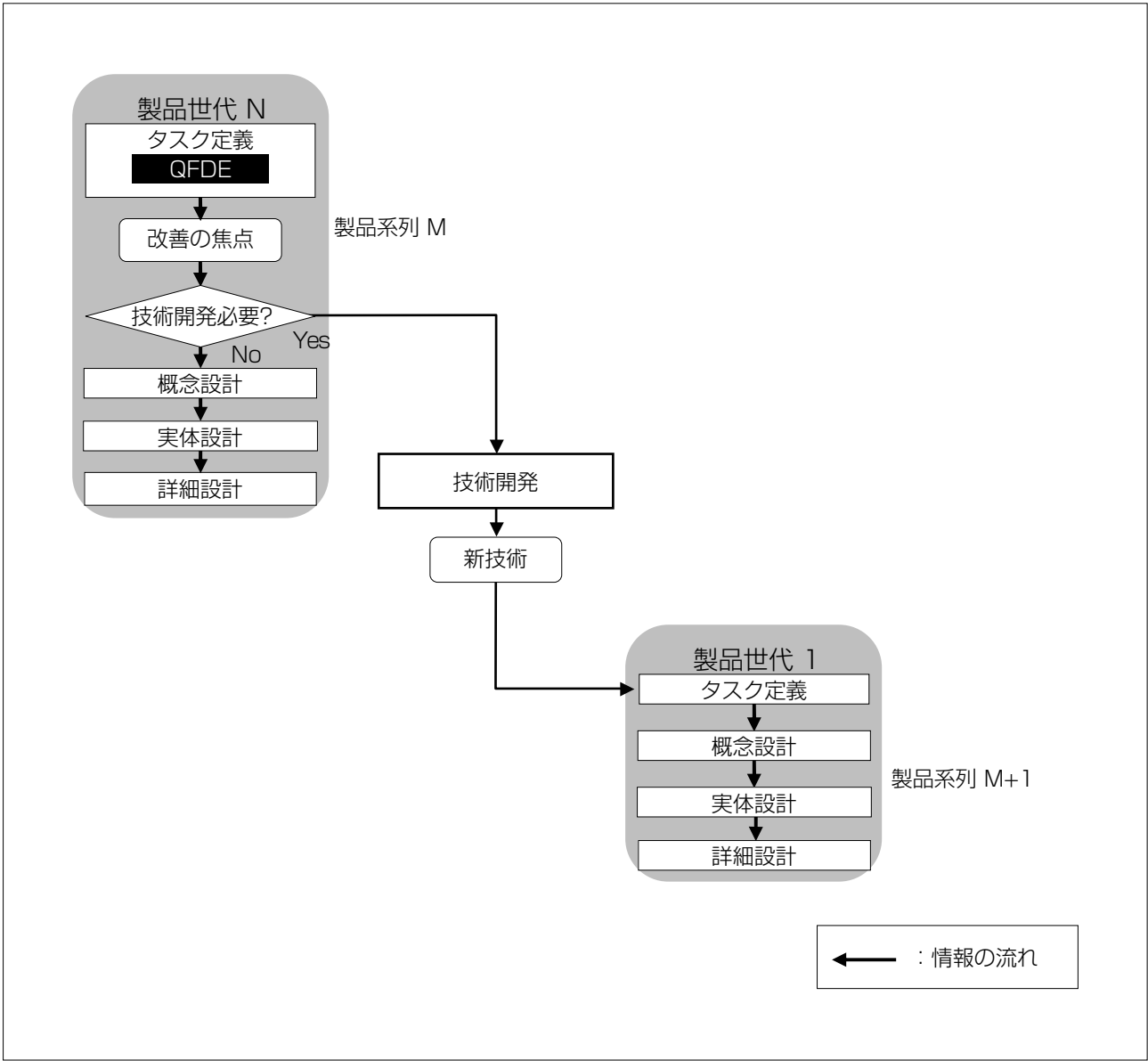
以上より、案2の方が効果が大きい改善案であることが判る。

5.3.2 技術開発への示唆

前項では産業用ポンプに対して、設計部門用QFDEを適用した結果を示した。フェーズⅠ、Ⅱから「ケーシング」と「軸封」というコンポーネントが、顧客と環境側面の要求に対して重要であることが明らかになった。これを踏まえてフェーズⅢ、Ⅳでは2つの改善案を想定し、効果の大小を比較した。

QFDEのフェーズⅢ、Ⅳの改善案は、必ずしも同一世代製品の設計過程において実現できないものも設定可能である。つまり、複数世代設計間の技術開発によって実現されるものも設定可能である。逆に、技術開発という視点から見れば、**図5.3-2**に示すようにQFDEの有効性は設計の世代間にまたがる技術開発テーマの特定において発揮される。

前項で想定されている2つの改善案については、双方とも技術開発要素を含むものである。よって、技術開発の効果の大きさを予め把握するためにQFDEを活用したことになる。さらに、想定した複数の案の投資（経済的なもの）の大きさが把握できれば、技術開発の案の効率を評価できる可能性を有している。例えば、前項の2つの改善案の投資が仮に同程度であれば、案2の方が技術開発効率が大きいことが判る。

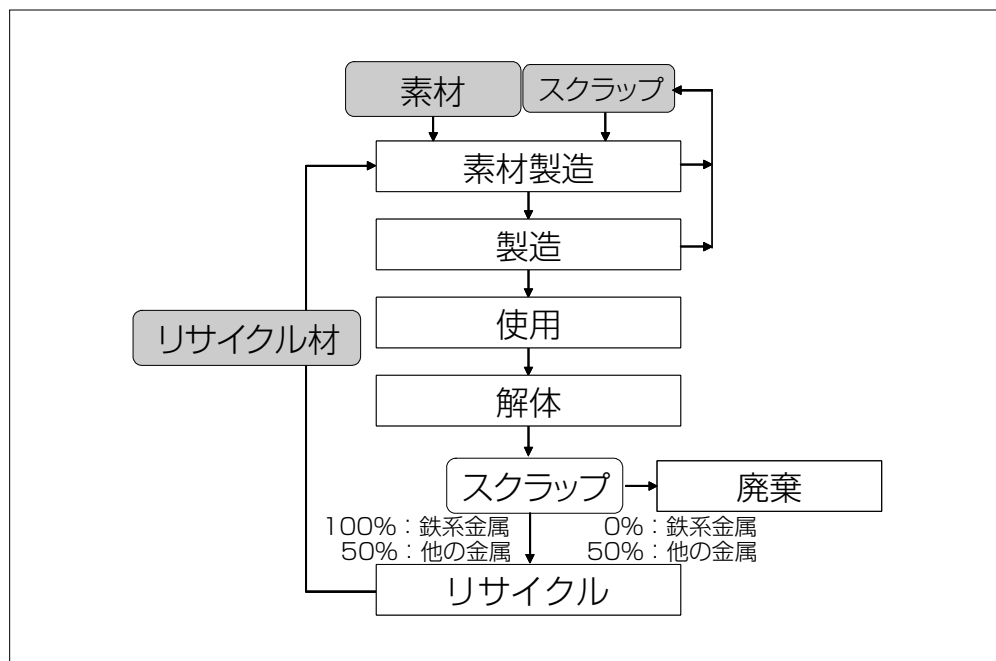
■ 図 5.3-2　QFDE の実施と技術開発との関連

5.3.3 応用事例

本項では前項までに説明したQFDEの応用事例を説明する。具体的には、同一の製品を対象としてLCA及びその感度解析を実施した結果との比較[1),2)]を示す。

(1) LCAの結果

5.3-1で示した産業用ポンプへのLCAの適用結果詳細を参考文献[1),2)]に基づいて説明する。

LCA実施において設定したシステムバウンダリは、**図5.3-3**に示すポンプのライフサイクル（製造、使用、リサイクル、廃棄段階）である。鉄系材料の場合は100％リサイクル、その他の金属は50％リサイクルするものとしている。リサイクル品はバージン材として製造段階にインプットされるものとした。

■ 図5.3-3　設定したポンプのライフサイクル

ケーシングの質量を低減するという感度分析では、以下の式で計算される「感度」を求めた。本感度が大きいことは、ケーシングの質量削減が影響を与える度合いが大きいということを指す。ただし、「割合」は重量削減前後の環境カテゴリーの評価値の比である。

（感度）＝ ｛1 －（割合）｝ / （0.1）

結果を**表 5.3-7** に示す。「現行製品」カラムは、10%削減する前つまり対象製品の評価結果を示す。「重量減した製品」カラムは、10%削減した場合の評価結果を示す。

■ 表 5.3-7　ケーシングの重量を 10%削減した場合の結果

環境カテゴリー	単位	現行製品	重量減した製品	割　合	感　度
酸性雨	[kg SO2-Equiv.]	1.57E+02	1.57E+02	99.36%	6.42%
水生生態系への毒性影響	[kg DCB-Equiv.]	3.81E+04	3.81E+04	96.53%	34.69%
発がん性影響	[kg PAH-Equiv.]	4.18E−02	4.18E−02	98.26%	17.37%
富栄養化	[kg Phosphate-Equiv.]	1.94E+03	1.94E+03	96.55%	34.52%
地球温暖化	[kg CO2-Equiv.]	2.59E+04	2.59E+04	99.98%	0.19%
人間毒性影響	[kg DCB-Equiv.]	1.67E+06	1.67E+06	96.89%	31.15%
光化学オキシダント	[kg Ethene-Equiv.]	1.64E+01	1.64E+01	99.68%	3.18%
陸生生態系への毒性影響	[kg DCB-Equiv.]	7.19E+06	7.19E+06	96.99%	30.12%
冬のスモッグ	[kg SO2-Equiv.]	9.45E+01	9.45E+01	99.64%	3.62%

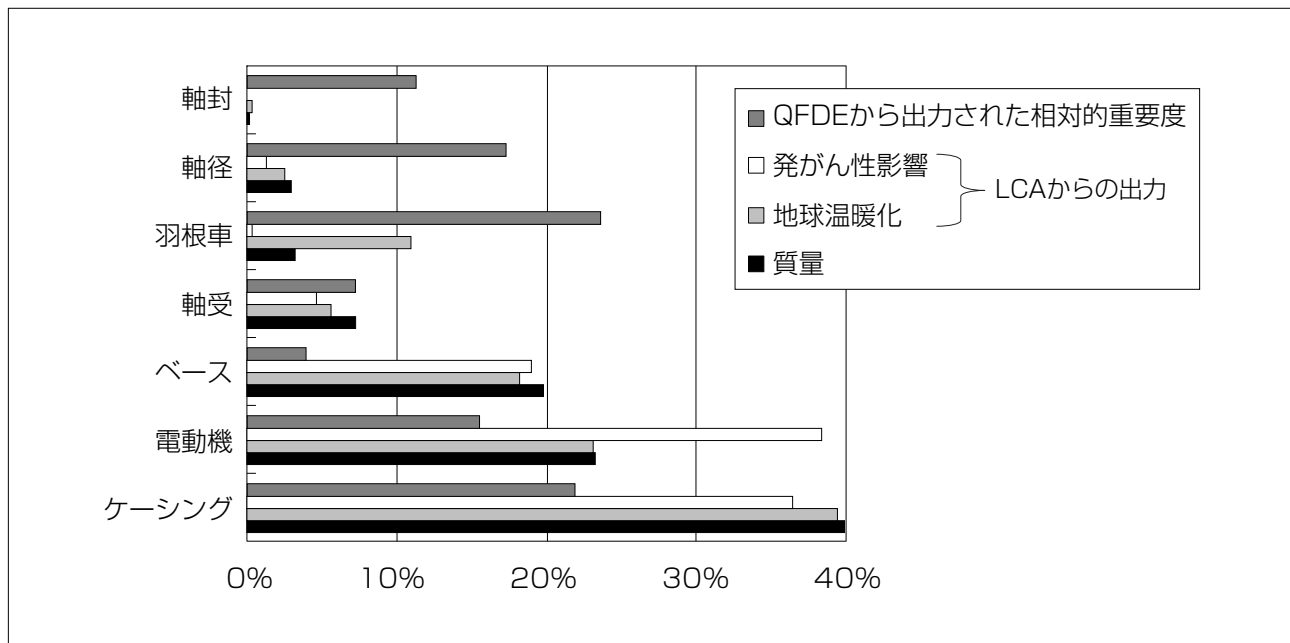
これによって、ケーシング重量の削減は以下に大きな効果があることを示している。

・ 水生生態系への毒性影響
・ 人間毒性影響
・ 陸生生態系への毒性影響

これは、資源採取～素材製造段階までの間に、毒性に関する環境影響ポテンシャルの割合が高いことを示している。

（2）重要部品の比較

製品を構成するコンポーネントに対する相対的重要度（製品全体に占める重要さの比率）の比較結果を**図 5.3-4** に示す。QFDE においてはフェーズⅡにおいてその結果が得られる（ただし、フェーズⅠにおいて環境側面の要求のみを考慮した場合）。一方 LCA の評価結果をコンポーネントに割り当てた値も、「発がん性影響」と「地球温暖化」という環境カテゴリーについて併せて示している（最終製品へのアセンブリ段階の環境負荷は LCA の結果、他に比べて小さく無視可能であったため、ここでは無視している。また、使用段階は手法が存在しないためここでは考慮していない）。参考のために、各コンポーネントの質量のポンプ全体に示す割合も併記している（なお、質量の合計が 100%に満たないのは、これら以外に部品が存在するためである）。

■ 図 5.3-4　ポンプの QFDE と LCA の出力の比較

羽根車、軸、軸封は、QFDE における工学的尺度の「想定耐久時間」に特に関連が強いと設定されており、相対的重要度も比較的高くなっている。一方 LCA においては、寿命決定に影響を与えるコンポーネントが何であるかという情報は評価結果に全く反映されないため、LCA の結果をコンポーネントに割り当てた値には反映されない。また、LCA からの部品の重要度はコンポーネントの質量に強く影響を受けるため、質量は小さいが機能的に果たしている役割が必ずしも小さくないコンポーネントは、LCA と QFDE の両者からの重要度の出力が比較的大きく異なる。

逆に「ベース」は LCA で重要とされているが、QFDE ではそれほど重要とされていない。これは、上記同様に質量と果たしている役割の大きさの割合が大きく異なることによる。

(3) 改善効果の比較

同一の改善案を想定してその効果を LCA と QFDE の両者で検討して比較を行なった。

まず、ケーシングの質量を 10%削減した場合を想定して LCA を行い、質量削減前の製品の場合と各インパクトカテゴリの評価値を比較し、ケーシング質量削減という改善案は、水生生態系への毒性影響、人間毒性影響、陸生生態系への毒性影響に対して大きな効果が得られることが判った。

一方 QFDE においては、ケーシングの質量を削減するという改善案（改善案 3 とする）を設定し、フェーズⅢ、フェーズⅣにおいてその効果を把握した。改善案 3 のフェーズⅢ、フェーズⅣの結果を各々**表 5.3-8** と**表 5.3-9** に記す。結果として、「配管から外さずに分解・点検したい」、「据付性が良い」、「小型､軽量化」、「分解性が良い」という要求に改善効果が得られることが判った。

■ 表 5.3-8　改善案 3 のフェーズⅢの結果

QFDE フェーズⅢ	コンポーネント																		
	ケーシング			羽根車			軸径			軸受		軸封	ベース	電動機					工学的尺度の改善率
工学的尺度	段数	吸込口径	材料	羽根車直径	翼枚数	材料	軸径	軸剛性	材料	振動振幅	材料	材料	設置面積	回転数	絶縁階級	出力	各相電圧		
吐出し量																		0	0.00
全揚程																		0	0.00
回転数																		0	0.00
効率																		0	0.00
比較回転数(比速度)																		0	0.00
吸込み圧力																		0	0.00
吐出し圧力																		0	0.00
NPSH																		0	0.00
シール部からの漏れ量																		0	0.00
揚液温度																		0	0.00
揚液密度																		0	0.00
揚液粘度																		0	0.00
蒸気圧力																		0	0.00
揚液の液質																		0	0.00
質量	9		3															12	0.19
材質																		0	0.00
体積(全体サイズ)																		0	0.00
想定耐久時間																		0	0.00
切粉量																		0	0.00
CO_2排出量																		0	0.00
揮発性有機化合物排出量																		0	0.00
振動																		0	0.00
騒音																		0	0.00
リサイクル率																		0	0.00
分解時間																		0	0.00
最終処分量																		0	0.00
有害有毒性(発癌性)																		0	0.00
材料種別数																		0	0.00

■ 表 5.3-9　改善案 3 のフェーズⅣの結果

QFDE フェーズⅣ		工学的尺度																														
顧客要求	顧客重要度	吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数	顧客要求の改善率	顧客要求の改善効果
一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.020
粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
指定された流量で送液する	1	9	9		6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.003	0.003
キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9											0.000	0.000
排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1		0.000	0.000
発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6						0.000	0.000
冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6						0.000	0.000
加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9															0.000	0.000
50・60Hzで共用したい	3				6																1									0.000	0.000
赤水を防止したい	9														3		9		1									1		0.000	0.000
配管荷重に耐える	6																9		6											0.000	0.000
配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9												0.097	0.581
インラインで使用したい	6																						9	1						0.000	0.000
原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6	0.025	0.224
小型、軽量化	6															9	9				6					6	1			0.056	0.337
加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1	0.000	0.000
電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1		0.000	0.000
潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1		0.000	0.000
梱包材が削減できる(耐輸送振動など	6															6	1	9			9				9		9			0.027	0.162
据付性がよい	1															9	6						6	1						0.079	0.079
騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9						0.007	0.045
故障が少ない	9									6							6								0		0			0.000	0.000
メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1	0.000	0.000
汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1	0.000	0.000
給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1	0.000	0.000
分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1	0.039	0.348
塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6		0.000	0.000
稼働寿命が長い	9									1															6	1	9			0.000	0.000
有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1	0.000	0.000
解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1			0.009	0.053
工学的尺度の改善率		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

改善効果の合計値　1.9

LCA からは素材を製造するプロセスにおける環境影響への効果が示される一方で、QFDE からは、質量が軽減されることによって、メンテナンスなどのプロセスの負担が軽減されることが示されている。QFDE では「有害物質の含有量が少ない」という要求に「質量」が関連付けられていないことが第一の原因として挙げられる。

(4) 両者の比較のまとめ

以上の結果から、特に QFDE が持っている特徴を以下のようにまとめる。

- コンポーネントの役割を考慮可能

コンポーネントが果たしている機能的な役割を通じた環境影響を表現できる。例えば、ポンプの軸封はその質量が小さいため、LCA の結果からはその重要度が高いと判断されないが、その果たしている機能的な役割が大きいため、QFDE の結果からは重要度が高いと判断される。これは設計者が製品を環境側面において改善する際に大きな情報源となると考えられる。無論、半定量的な表現では定量値の有する情報をある程度捨象するために、精度が落ちるという欠点もある。

- 製品寿命やメンテナンスに与える影響を考慮可能

QFDE では、製品寿命やメンテナンスに与える影響を考慮し、設計者が製品の長寿命化を実現したり、メンテナンスを容易にするための手段に関する情報を得ることが可能である。

ポンプの例で言えば、製品全体の寿命に大きな影響を与えると認識されている軸封は、その影響によって重要度も高く算出されている。一方 LCA においては、製品のどの部分を改善すれば寿命を延ばすことができるかについては記述されていない。

同様にメンテナンスについても、なぜメンテナンスが必要なのかという点や、その作業において重要な役割を果たしている要因は LCA において表現できないが、QFDE ではそのような情報を表現できる。例えば、ケーシングの質量を削減するとメンテナンスの容易性を高めることなどが表現できる。

5.4 建設機械への設計部門用 QFDE の適用

5.4.1 対象製品と適用結果

5.4 で対象とした製品は、建設用油圧ショベルである。油圧ショベルは、建設現場における掘削、積込み、整地などの作業が可能である。対象製品と類似クラスの製品の外観を**図 5.4-1** に示す。

■ 図 5.4-1　対象製品同等クラス製品の外観

出典：文献[4]

(1) QFD の適用

QFD（設計部門用 QFDE において環境側面の要求および工学的尺度を考慮しない場合）の適用結果詳細を記す。QFD のフェーズⅠ、フェーズⅡの結果を各々**表 5.4-1** と**表 5.4-2** に記す。

■ 表 5.4-1　フェーズⅠの結果

	QFDE フェーズⅠ / 顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 安全装置の数	旋回体後端のの履帯幅はみ出し量	メンテナンス容易性	保守時間間隔	部品寿命	本体寿命	時間当たり作業量	走行速度	稼働率	新車価格競争力	中古車価格競争力	作業量当たり燃料消費量	機体質量
基本性能	時間当たり作業量が多い	9		6	6	6			9			6		9	
	多機能である	9		3	6	6						6			
	走行速度が速い	6		3	6	6			6	9				3	3
	故障が少ない	9			6	6	6	6			9	6	6		
	価格競争力が有る	9	6									9			
	中古車価格が高い	6					6	6					9		
安全・快適	騒音・振動が少ない	9					3	3		6		6			
	危険要因のない設備、作業、火災防止	6	9	9				3							
	簡単に操作できる	9	6	6					6			6		6	
	点検整備（メンテナンス）が容易	9		6	9		6				6	6	6		
省エネ	エネルギー効率が高い	9								3	6			9	3
省資源	稼働寿命が長い	9			6		6	9			6		9		
	交換部品寿命が長い	9			6	9	9	6			6		6		
		総得点	162	261	387	279	306	270	171	135	297	405	297	234	45
		相対的重要度	0.050	0.080	0.119	0.086	0.094	0.083	0.053	0.042	0.091	0.125	0.091	0.072	0.014

■ 表 5.4-2　フェーズ II の結果

QFDE フェーズⅡ			上部旋回体				パワーユニット		
			キャビン		旋回ユニット	カウンターウエイト			
工学的尺度	相対的重要度	作業機	コントローラ・操作系	内装（防音・防振）	旋回ユニット	カウンターウエイト	エンジン	油圧ポンプ・バルブ等	下部走行体
安全装置の数	0.050	3	3	6	6	1		3	
旋回体後端の履帯幅はみ出し量	0.080				6	9			
メンテナンス容易性	0.119	6	3	3	6	3	9	3	3
保守時間間隔	0.086	6	6	3	6	3	9	3	1
部品寿命	0.094	6	1	1	3	1	9	9	1
本体寿命	0.083	6	3	1	3	1	9	9	3
時間当たり作業量	0.053	9	6	3	3	1	9	9	3
走行速度	0.042					3	9	9	3
稼働率	0.091	3	6	3	3	3	6	6	3
新車価格競争力	0.125	3	3	9	3	1	9	3	3
中古車価格競争力	0.091	3	3	9	3	1	9	3	3
作業量当たり燃料消費量	0.072	6	6		3		9	9	3
機体質量	0.014	6	1	1	3	9	1	1	6
	総得点	4.35	3.32	3.48	3.88	2.36	7.44	5.07	2.29
	相対的重要度	0.14	0.10	0.11	0.12	0.07	0.23	0.16	0.07

（2）QFDE の適用

参考文献[1]に基づき、設計部門用 QFDE のフェーズⅠ、Ⅱを適用した結果の概略を説明する。フェーズⅠ、フェーズⅡの結果を各々**表 5.4-3** と**表 5.4-4** に記す。顧客重要度は、その重要性を鑑みた上で1と同様に0、1、3、6、9の5段階で設定している。関連度についても0、1、3、6、9の5つから選んで設定している。フェーズⅠの結果として、工学的尺度の内、重要度の高いものは、「メンテナンス容易性」、「新車価格競争力」、「NOx 排出量」であることが示されている。フェーズⅡの結果として、コンポーネントの内、重要度の高いものは、「エンジン」、「油圧ポンプ・バルブ等」、「作業機」であった。

■ 表 5.4-3　フェーズ I の結果

QFDE フェーズ I	顧客要求	顧客重要度	工学的尺度 安全装置の数	旋回体後端のの履帯幅はみ出し量	メンテナンス容易性	保守時間間隔	部品寿命	本体寿命	時間当たり作業量	走行速度	稼動率	新車価格競争力	中古車価格競争力	作業量当たり燃料消費量	機体質量	有害物質量	CO_2排出量	NOx排出量	振動	騒音	リサイクル率
基本性能	時間当たり作業量が多い	9		6	6	6			9			6		9			9	9			
	多機能である	9		3	6	6						6									
	走行速度が速い	6		3	6	6			6	9				3	3		3	3			
	故障が少ない	9			6	6	6	6			9	6	6								
	価格競争力が有る	9	6									9									
	中古車価格が高い	6					6	6					9								
安全・快適	騒音・振動が少ない	9					3	3		6		6									
	危険要因のない設備、作業、火災防止	6	9	9				3													
	簡単に操作できる	9	6	6					6			6		6			3	6			
	点検整備（メンテナンス）が容易	9		6	9		6				6	6	6								
省エネ	エネルギー効率が高い	9								3	6			9	3		9	9			
省資源	小型、軽量化	9			6				3	6				6	9		6	6	6	6	3
	稼働寿命が長い	9			6		6	9			6		9								
	交換部品寿命が長い	9			6	9	9	6			6		6								
	リサイクル実効率が高い	9														3					9
環境保全	排気がきれい	9															6	9			
	有害物質を含まない材料	9														9					
	解体・廃棄処理が容易	1														6					6
	消耗品廃棄物が少ない	6			6	6	6				3										
	有害油脂類の不測時のもれを防止	6														6					
		総得点	162	261	477	315	342	270	198	189	315	405	297	288	126	150	315	369	54	54	114
		相対的重要度	0.034	0.056	0.101	0.067	0.073	0.057	0.042	0.040	0.067	0.086	0.063	0.061	0.027	0.032	0.067	0.078	0.011	0.011	0.024

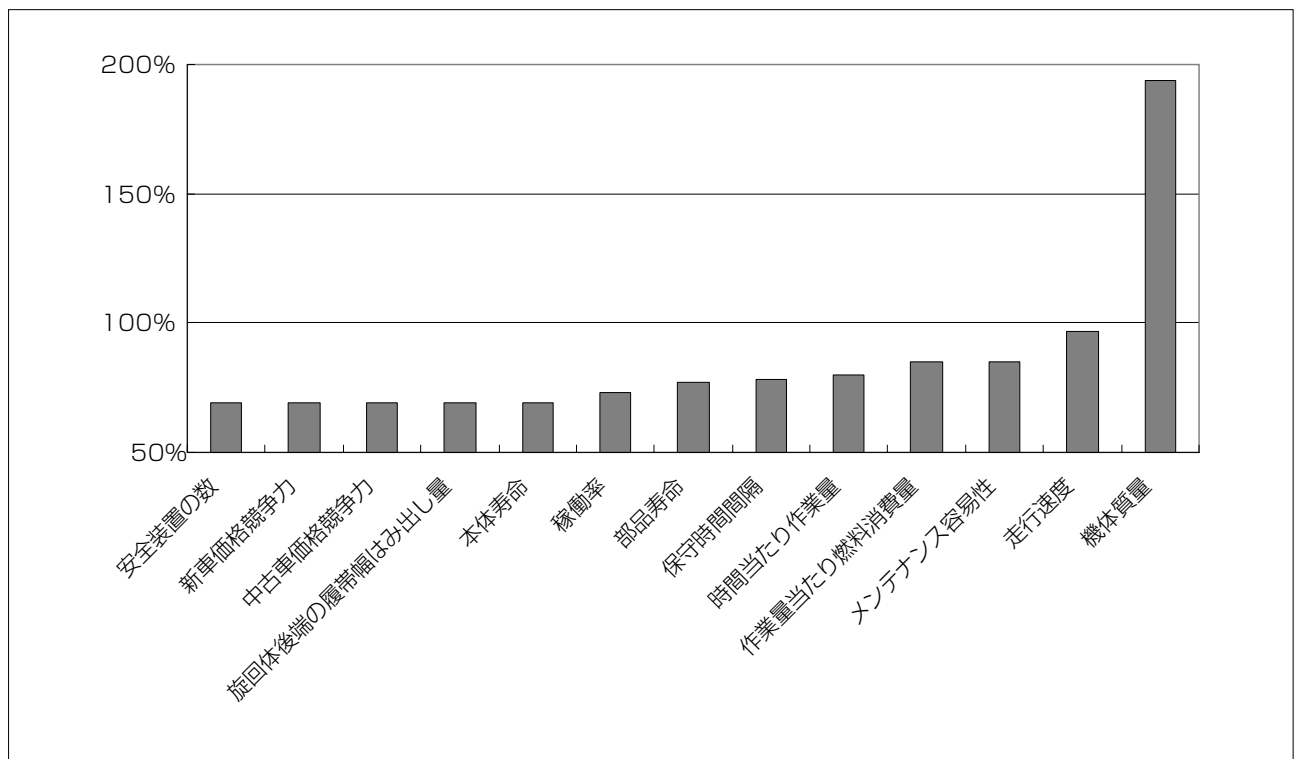
■ 表 5.4-4　フェーズ II の結果

QFDE フェーズⅡ 工学的尺度	相対的重要度	作業機	上部旋回体				パワーユニット		下部走行体
			キャビン		旋回ユニット	カウンターウエイト			
			コントローラ・操作系	内装（防音・防振）	旋回ユニット	カウンターウエイト	エンジン	油圧ポンプ・バルブ等	
安全装置の数	0.034	3	3	6	6	1		3	
旋回体後端の履帯幅はみ出し量	0.056				6	9			
メンテナンス容易性	0.101	6	3	3	6	3		3	3
保守時間間隔	0.067	6	6	3	6	3	9	3	1
部品寿命	0.073	6	1	1	3	1	9	9	1
本体寿命	0.057	6	3	1	3	1	9	9	3
時間当たり作業量	0.042	9	6	3	3	1	9	9	3
走行速度	0.040					3	9	9	3
稼働率	0.067	3	6	3	3	3	6	6	3
新車価格競争力	0.086	3	3	9	3	1	9	3	3
中古車価格競争力	0.063	3	3	9	3	1	9	3	3
作業量当たり燃料消費量	0.061	6	6		3		9	9	3
機体質量	0.027	6	1	1	3	9	1	1	6
有害物質量	0.032	3	9	3	3	9	9	3	1
CO_2排出量	0.067						9		
NOx排出量	0.078						9		
振動	0.011	3	3	6	3	9	9	3	1
騒音	0.011	3	3	6	3	9	9	3	1
リサイクル率	0.024	6	1	1	6	9	1	1	6
	総得点	3.76	2.93	2.80	3.29	2.64	7.58	4.14	2.06
	相対的重要度	0.13	0.10	0.10	0.11	0.09	0.26	0.14	0.07

(3) 考察

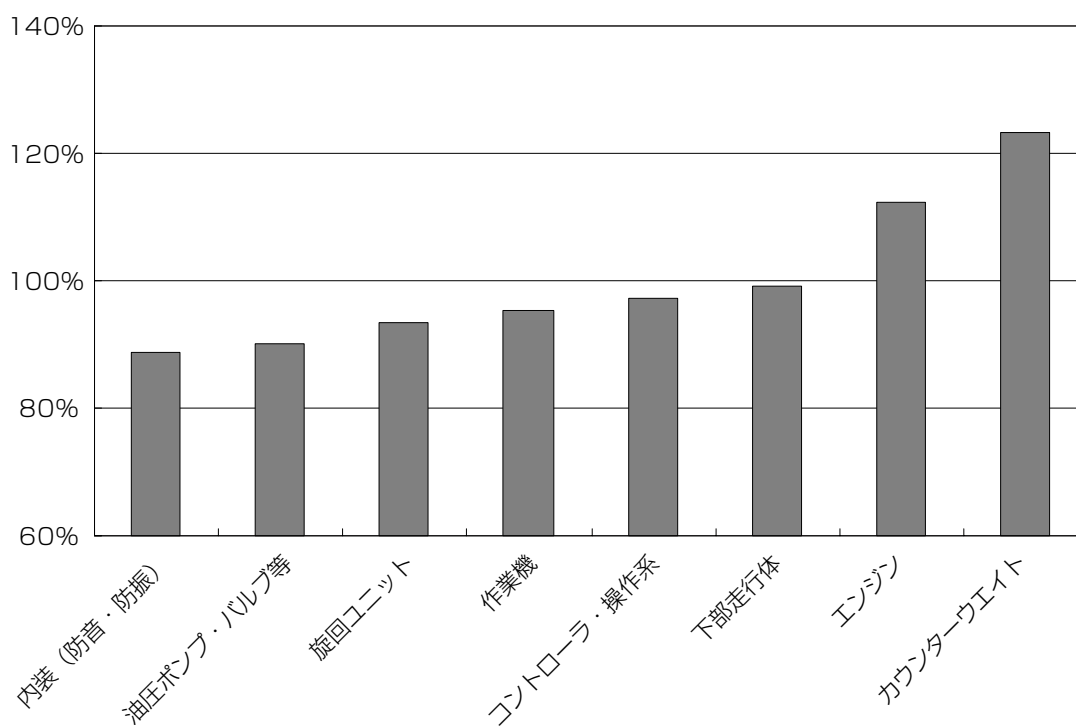
環境側面を考慮しない場合に比べた環境側面を考慮する場合の工学的尺度に対する重要度の比を**図 5.4-2** に示す。ただし、環境側面を考慮する場合だけに扱われた工学的尺度は省いている。この指標は、環境側面を新たに考慮する場合に、設計の焦点をシフトすべき方向性を工学的尺度の視点から与える。QFD と QFDE のフェーズⅠの出力である相対的重要度の絶対値だけでは判定できない。

「機体質量」の相対的重要度は約 2 倍になっているが、逆にその他の全ての工学的尺度は 100%よりも小さくなっている。これは、環境側面を考慮することによって追加された、省資源という側面から見た「小型、軽量化」という要求に「機体質量」が非常に強く関連付けられている（関連度が 9）ことが主な理由である。

■ 図 5.4-2　環境側面を考慮した場合の工学的尺度の重要度の変化

環境側面を考慮しない場合に比べて環境側面を考慮する場合のコンポーネントに対する重要度の比を**図 5.4-3** に示す。この指標は、環境側面を新たに考慮する場合に、設計の焦点をシフトすべき方向性をコンポーネントの視点から与える。上記同様、QFD と QFDE のフェーズⅡの出力である

相対的重要度の絶対値だけでは判定できない。

本例では「カウンターウエイト」の相対的重要度が約1.25倍になっている。これは、環境側面を考慮することによって追加された「有害物質量」、「振動」、「騒音」という工学的尺度や「機体質量」に「カウンターウエイト」が非常に強く関連付けられている（関連度が全て9）ことが主な理由である。環境側面を新たに考慮する場合に「カウンターウエイト」が相対的に重要となってくるということを示唆している。QFDとQFDEの双方で相対的重要度が最も高かったのは「エンジン」であるが、両者の比で見れば「カウンターウエイト」が最も高く、設計の焦点をシフトすべき方向性が本指標によって与えられている。

■ 図5.4-3　環境側面を考慮した場合のコンポーネントの重要度の変化

5.4.2 技術開発への示唆

技術開発は一般に、ある世代の製品の設計において明らかになったボトルネックに対して行なわれることが多い。ボトルネックとは、解決することによって性能や顧客満足度に対して大きな飛躍が得られる課題を指す。QFDE のフェーズⅠとⅡは、設計において相対的に重要である工学的尺度（設計変数）とコンポーネントを各々特定して、相対的重要度という指標で設計者に提示する。QFDE で同定される相対的重要度は、顧客や環境側面からの要求に対して与える影響の大きさを表すため、ボトルネックを特定するために有力な情報である。つまり、QFDE で得られる工学的尺度とコンポーネントの相対的重要度を使って、技術開発のテーマを絞り込むことができる。

従来重視していなかった環境問題に新たに対応するための技術開発を明らかにする場合、環境問題を考慮しない場合とする場合での設計変数やコンポーネントの重要度に対する変化を把握することが有効である。よって、環境側面を考慮しない QFDE と考慮する QFDE を行い、2 つの場合に得られる相対的重要度の比をもって、環境問題に対応するための技術開発のボトルネックとなる部分を絞り込むことができる。

前項で述べた油圧ショベルの例では、環境側面を考慮しない QFD と考慮する QFDE の 2 つの場合の相対的重要度の比は、工学的尺度では機体質量、コンポーネントではカウンターウエイトとエンジンが各々大きかった。これは、油圧ショベルにおいて環境対応の技術開発を行なうためには、それらに焦点を当てるべきであるということを示唆している。

工学的尺度については具体的には、機体質量を低減するための技術開発が有望であることを表している。これは使用時のエネルギー効率に強い関連があるため、比較的理解しやすいものと考えられる。

コンポーネントについては具体的には、カウンターウエイトのリサイクル性向上、エンジンからの有害物質、CO_2、NOx の排出量低減に対する技術開発が有望であることを表している。なぜなら、カウンターウエイトは、QFDE フェーズⅡのマトリックスで、リサイクル率に大きい関連度を有し、エンジンは有害物質量、CO_2 排出量、NOx 排出量に大きい関連度を有していることからである。

上記で述べたカウンターウエイトの重要性の増加は、実際に近年の環境問題に対する社会の意識の高まりから実際に問題として顕在化した。ここでは QFDE の有効性を示すために、近年油圧ショベルの環境問題対応に

おいて生じた問題とその解決に対して適用された技術の概要を経緯[5]を含めて述べる。

油圧ショベルも廃棄物の問題からリサイクル可能率の向上が必須課題として挙げられるようになった。油圧ショベルのリサイクル可能率を充分高めるためには、質量の割合の大きいカウンターバランスのリサイクルが不可欠である。カウンターウエイトは、建設機械の運転時にバランスを取るためのおもりで、「製缶タイプ」（外側は鉄板で中は金属、鉄鉱石、鉄粉等をコンクリートで固めたもの）と「鋳物タイプ」の2種類がある。カウンターウエイトは2001年度時点で77％が廃棄処理されていたが、これはコンクリートが多く含まれる「製缶タイプ」のウエイトの破砕処理が難しいためであった。コンクリートと鉄鉱石を分離できたとしても高炉まで運搬することが必要であり、その運搬コストがネックでリサイクル困難であったからである。リサイクルを実現するためには、材料を鋳物（電炉でリサイクル可能）に変更することによって解決されるが、充分な一定量の鋳物原料を一定範囲内の購入価格で確保し、その原料を利用してカウンターウエイトを製造する技術の開発が不可欠である。現在は、スクラップ高騰の影響もあり、本格的に実施されるには至っていないが、一部の製品では開発された技術が適用済である。

既に述べたように、QFDEを実施した結果、環境対応を始める場合、カウンターウエイトが有望な技術開発のターゲットであることが示唆されていた。前述した実際に生じた問題とQFDEの出力を比較すると、技術開発上重要なポイントを明らかにする能力をQFDEが実際に有していることが分かる。

●参考文献

1）（社）日本機械工業連合会,環境適合設計手法の標準化に関する調査研究報告書, 2004
2）Sakao, T., Kaneko, K., Masui, K., Tsubaki, H., Analysis of the characteristics of QFDE and LCA for ecodesign support, International Congress and Exhibition Electronics Goes Green 2004+, 2004, pp. 495-500
3）坂尾知彦, 環境マネジメントのパフォーマンス改善ー LCA と QFD の連携. 第 12 回 QFD シンポジウム予稿集, pp. 39- 58, 2004
4）コマツ
5）産業新聞社鉄鋼ニュース
http://www.japanmetal.com/back_number/t2001/t20011119.html

付　録

1　参考文献

本テキスト及びその周辺事項の習得のための文献を以下に記す。

（1）初歩的教科書

①QFD のために

○ 赤尾洋二：品質展開入門, 日科技連出版社（1990）

②LCA のために

○（社）産業環境管理協会： LCA 実務入門（1998）

（2）専門的文献

①QFD のために

○ 小野道照, 大藤正：品質展開法（1）ー品質表の作成と演習, 日科技連出版社（1990）

○ 小野道照, 大藤正：品質展開法（2）ー技術・信頼性・コストを含めた総合的展開, 日科技連出版社（1994）

○ 吉澤正監修, 新道久和編集：実践的 QFD の活用ー新しい価値の創造, 日科技連出版社（1998）

○ 水野滋, 赤尾洋二編集：品質機能展開ー全社的品質管理へのアプローチ, 日科技連出版社（1978）

②LCA のために

○ LCA 日本フォーラム： LCA 日本フォーラム報告書, 産業環境管理協会（1997）

○ 石谷久, 赤井誠：ライフサイクルアセスメントー原則及び枠組みー, 産業環境管理協会（1999）

③機械設計一般のために
○ G. Pahl and W. Beitz ：工学設計ー体系的アプローチー，設計工学研究グループ訳，培風館（1995）

④DfE 一般のために
○ M. Keating ： Agenda for Change, Centre for Common Future, Geneva（1993）
○ B. Rapoza, T. Harjula, W. A. Knight and G. Boothroyd ： Product Design for Disassembly and Environment, Annals of CIRP, p. 109 ～ 112（1996）
○ UNEP ： Ecodesign ； A promising approach to sustainable production and consumption, United Nations Publication（1997）
○ 伊藤忠テクノサイエンス（株）： http://www.ctc-g.co.jp/~DFMA/
○ Design for The Environment, Product Life Cycle Design Guidance Manual, Government Institutes（梅田富雄訳：“環境に優しい設計ガイド”, 工業調査会（1996））
○ Mattias Lindahl & Johan Tingström ： A little textbook on Environmental Effect Analysis, Department of Technology University of Kalmar（2001）
○ Martin Charter ： Managing eco-design, a training solution, The Centre for Sustainable Design（1997）
○ Commission of The Europian Communities ： Green Paper on Integrated Product Policy（2001）
○ 製品規格に環境側面を導入するための指針，日本工業標準調査会（1998）
○ D. Livio, DeSimone and Frank Popoff ： Eco-efficiency ー The Business Link to Sustainable Development ー, MIT Press（1997）（山本良一監訳，エコ・エフィシェンシーへの挑戦，日科技連出版社（1998））
○ 吉澤正：環境マネジメントの国際規格ー ISO 規格の対訳と解説ー, 日本規格協会（1997）
○ G.Paul and W.Beitz ： Engineering Design ； A systematic approach, Springer-Verla（1977）（設計工学研究グループ訳, 工学設計ー体系的アプローチー, 培風館（1977））
○ 精密機械工学会誌，Vol.66，No.12（1998）

2 環境 VOC、環境 EM、チェックリストのデフォルトリスト

2.1 環境 VOC のデフォルトリスト

QFDE の環境側面の VOC の項目として、汎用的に用意した 11 項目と、その内容を以下に挙げる。

a. 素材使用を低減したい：製品に使用する素材の量を低減したいということである。

b. 加工・組み立てをしやすくしたい：製品の生産時に容易に加工・組み立てをしたいということである。

c. 製造時排出物を処理しやすくしたい：製品を生産する工場からの排出物を処理しやすいものにしたいということである。

d. 簡単に運搬・保管したい：製品の販売に至るまでの運搬、使用済み製品の回収の過程において、運びやすくしたり、保管しやすくしたいということである。

e. 使用時の生活環境を守りたい：製品を使用する段階で、使用する者及び使用する近傍で生活する者の安全性及び快適性を保障したいということである。例えば、騒音、振動、電波、悪臭を発しないようにしたいということである。

f. 壊れにくくしたい：製品を使用する段階で、製品や部品を劣化しにくくしたり、故障する確率を低くしたりしたいということである。

g. 再利用しやすくしたい：製品、包装などを容易に再利用したいということである。

h. 分解・部品の選別をしやすくしたい：製品を使用中の保全時や寿命終了時に容易に分解したい、部品を再利用しやすくしたい、部品を素材成分などの観点から容易に選別できるようにしたいということである。

i. 破砕・素材の選別をしやすくしたい：製品を寿命終了時に容易に破砕処理したい、素材ごとに容易に選別できるようにしたいということである。

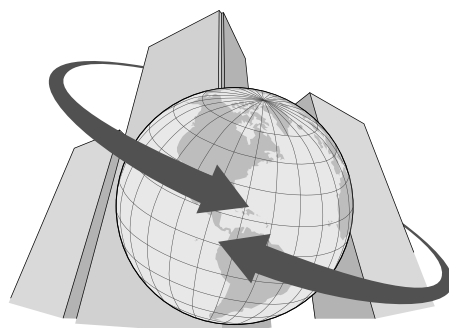
j. 有害物質を発生させない製品にしたい：製品に有害物質が含まれない、焼却・埋め立て時に有害物質が発生しないようにしたいということである。

k. 消費エネルギーを少なくしたい：素材を製造する過程、製品を生産

する過程、製品を運搬する過程、製品を使用する過程、製品を回収する過程において、エネルギー、電力の使用量を少なくしたいということである。

2.2 環境 EM のデフォルトリスト

次に、QFDE の環境側面の EM の項目として汎用的に用意した 10 項目とその内容を以下に挙げる。

a. 質量、重量：製品の質量、重量
b. 体積：製品の外形寸法をもとにした体積
c. 部品点数：製品を構成する部品の数
d. 材料種別数：製品を構成する材料の種類の数
e. 硬度：製品を構成する部品の硬度
f. 機械的寿命：製品の寿命
g. 消費エネルギー量：生産、配送、使用、保全、廃棄の段階に要するエネルギーの量
h. リサイクル材の使用率：製品を構成する材料のうちのリサイクル材の割合
i. 騒音・振動・電磁波：製品の使用時に発する音量、振動、電磁波
j. 有害物質量：生産、配送、使用、焼却、埋め立て時に排出する、大気・水質・土壌汚染物質量など（「2.4　DfE チェックリストのデフォルトリスト」①-1（p.132）に主として関連）

2.3 環境 VOC と環境 EM の関連度のデフォルト

環境 VOC と環境 EM の関連度のデフォルトを**付表 2.3-1** に示す。

■ 付表 2.3-1　環境 VOC と環境 EM の関連度のデフォルト

環境 VOC ＼ 環境 EM	質量、重量	体積	部品点数	材料種別数	硬度	機械的寿命	消費エネルギー量	リサイクル材の使用率	騒音・振動・電磁波	有害物質量
素材使用を低減したい	9	9	1	3				9		
加工・組み立てをしやすくしたい			9				9			
製造時排出物を処理しやすくしたい	9	9					3			9
簡単に運搬・保管したい	9	9					3			
使用時の生活環境を守りたい					3				9	
壊れにくくしたい					9	9				
再利用しやすくしたい						9				
分解・部品の選別をしやすくしたい			9	9			3			
破砕・素材の選別をしやすくしたい					9		9			
有害物質を発生させない製品にしたい				3						9
消費エネルギーを少なくしたい							9			

2.4 DfE チェックリストのデフォルトリスト

ここでは、環境調和型製品設計を支援するために開発した DfE チェックリストのデフォルトリストを説明する。これは、環境保全に貢献するために、検討する必要がある事項となっている。これを用いることによって、設計者は DfE の着眼点を知ることができる。

チェックリストという性質上必然的に、項目の体系の最適性は保証されておらず、さらに、項目の中には相矛盾するものもあるが、ここでは漏れがないことに主眼を置いて作成している。また、(注 1) ～ (注 23) は**付録 3** の法規制情報に説明されている。

①低環境影響素材の選択

素材と表面処理の方法に焦点を当て、低環境影響のものを選択することである。素材の環境影響の大きさは、素材自身の性質だけでなく、使用される製品のライフサイクルに依存する。

(注1) 大気汚染防止法第2条第3項、大気汚染防止法施行令第1条参照。
(注2) 大気汚染防止法第17条、大気汚染防止法施行令第10条参照。
(注3) 大気汚染防止法第22条、大気汚染防止法施行令第11条別表第5参照。
(注4) 水質汚濁防止法第2条第2項、水質汚濁防止法施行令第2条参照。
(注5) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法という）第2条第3項、廃棄物処理法施行令第1条別表第1参照。
(注6) 廃棄物処理法第2条第5項、廃棄物処理法施行令第2条第4項参照。
(注7) 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（以下、化学物質管理促進法という）第5条第2項、第2条第2項参照。
(注8) 再生資源の利用の促進に関する法律（以下、再生資源利用促進法という）第12条、再生資源利用促進法施行令第1条別表第1参照。なお、同法は現在「資源の有効な利用の促進に関する法律」と名称が改められています (p.137 参照)。
(注9) 再生資源利用促進法第2条第5項、再生資源利用促進法施行令第4条別表第4参照。

①-1　有毒性・有害性のない素材

生産、使用、焼却、廃棄などのときに有毒性物質(注1)～(注7)の排出をもたらさない素材を利用することである。

①-2　非枯渇性資源の利用

非枯渇性資源から製造する素材。例えば、化石燃料、熱帯雨林、銅、すず、亜鉛、白金の使用は望ましくない。

①-3　再生された素材の利用

以前に使用されていた素材(注8)。さらに、再生時に投入するエネルギーがより少ない方が望ましい。

①-4　再生容易な原料

原料に再生容易な素材。異なる素材の種類数が少ない方が再生しやすい。また、再生時に性能の変化のない方が望ましい。さらに、再生時に投入するエネルギーがより少ない方が望ましい。

①-5　低いエネルギー含有素材

素材を製造するために必要なエネルギーが少ない素材(注9)。高いエネルギー含有素材を使うことは、他の利点がない限り、不適切である。例えば、アルミニウムは高いエネルギー含有素材であるが、重量が小さいため輸送に有利で、リサイクルに適しているという利点がある。

①-6　加工容易性の高い素材

製造時の加工容易性の高い素材。加工容易性は製造時の消費エネルギーの低減や高い歩留まりへ貢献する。

②素材使用の低減

最低限の量の素材を使用することである。運搬、保管時のスペースを低減することも目的として含んでいる。

②-1　重量の低減

製品の重量を低減することである。

②-2 （運搬時）体積の低減

製品と包装のサイズを小さくすることである。製品を折りたたみ式にすることも方法の一つである。

②-3　材料の種類数の低減

使用する材料の種類数を低減することである。これによってリサイクル性の向上や材料調達の運搬ルートの効率化などの点で資源・エネルギーの浪費を低減できる。標準素材又は規格品となっている素材を使用することも材料種類数の低減に貢献できる。

③生産技術の最適化

別の素材（無毒性・無害性のものに限る）の使用やエネルギーの使用量を最小化した生産技術の採用。

③-1　環境影響の低い生産技術

環境影響の低い代替の生産技術（注10）を検討することである。環境影響の低いとは、有害性及び有毒性の物質を必要としない、排出物（注11）の少ない、材料を有効に使用する、爆発性及び危険性の少ない、悪臭（注12）のない、騒音（注13）（注14）のない、などの事柄を含む。

③-2　より少ない生産手順

使用する生産手順の数を減らすことである。表面処理が不要な材料を使うことは、生産手順の数を減らすための経験則の一つである。

③-3　より少ない／環境影響の低いエネルギー消費

エネルギー消費の効率化（注15）（注16）を図ること、又は再生可能エネルギー資源を利用することである。

③-4　より少ない／環境影響の低い生産消耗品

生産時の消耗品や材料の使用量を減らすことと、それらを無毒性のものに限ることである。

③-5　より少ない生産廃棄物

廃棄物（注17）及び排出物の量を減らすことである。生産廃棄物を低減することは歩留まりを高めることによっても可能である。

④配送システムの最適化

工場から小売、ユーザーに最適な方法で運ぶことである。包装、運搬及び回収の方法に関連性がある。

④-1　より少ない／環境影響の低い／燃焼可能素材による包装

少量の、無毒性の、燃焼可能な包装等の使用。

④-2　再利用可能／再生利用可能な包装

再利用又は再生可能な包装の使用（注18）。

④-3　環境影響の低い運搬手段

環境影響の小さく、エネルギー効率のよい運搬手段の選択。例えば、飛行機による運搬は船舶によるそれよりもずっと環境影響は大きい。

④-4　エネルギー効率のよい運搬ルートの設定

製品の物流に必要なエネルギーを低く抑えることである。

⑤使用時の環境影響の低減

使用時における消費エネルギー、排出物や消耗品（例えばエネルギー、水、洗剤、電池、カセット、フィルターなど）による環境影響の低減。こ

（注10）エネルギー等の使用の合理化及び再生資源の利用に関する事業活動の促進に関する臨時措置法（以下、省エネ・リサイクル支援法という）第2条第4項、省エネ・リサイクル支援法施行令第2条参照。

（注11）水質汚濁防止法第5条、水質汚濁防止法施行令第1条別表第1参照。

（注12）悪臭防止法第11条、悪臭防止法施行令第1条参照。

（注13）騒音規制法第6条第1項、騒音規制法施行令第1条別表第1参照。

（注14）振動規制法第6条第1項、振動規制法施行令第1条別表第1参照。

（注15）エネルギーの使用の合理化に関する法律（以下、省エネルギー法という）第6条第1項、省エネルギー法施行令第2条参照。

（注16）省エネ・リサイクル支援法第2条第4項第3号、省エネ・リサイクル支援法施行令第1条参照。

（注17）廃棄物処理法第10条、廃棄物処理法施行令第2条参照。

（注18）容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律（以下、容器包装リサイクル法という）第11条、容器包装リサイクル法施行令第1条別表第1参照。

れは、保全や修理のときにも当てはまる。

⑤-1　より少ない／環境影響の低いエネルギー消費

エネルギー効率のよい部品を選択したり、ある部分を削除したりすることによってエネルギー消費[注19]を減らすことである。これは CO_2, SO_X, NO_X の排出量を低減する。

（注 19）省エネルギー法第 7 条、第 18 条参照。

また、環境影響の低いエネルギー源を使用することである。経験則としては、有害性の低いエネルギー源を使用すること、充電可能電池を使用すること、低硫黄エネルギー源（天然ガスや低硫黄石炭）、風力発電、水力発電、太陽エネルギーの使用がすすめられる。

⑤-2 より少ない／環境影響の低い消耗品

必要な消耗品がより少なくなるよう製品を設計することである。例えば、コーヒーメーカーで紙の使い捨てフィルターの代わりに、使い捨てではないフィルターを使用すること。

また、消耗品をライフサイクルを持った一つの製品とみて、おのおのの消耗品に対して DfE チェックリストを適用するなどして、環境影響を低減することである。

⑤-3　環境への排出物の低減

使用時の環境への排出物を低減するように製品を設計することである。例えば自動車の排ガス[注20]を浄化する機能を付加することである。

（注 20）大気汚染防止法第 2 条第 10 項、大気汚染防止法施行令第 4 条参照。

⑤-4　エネルギー、消耗品の浪費の低減

ユーザーに、エネルギー・消耗品の使用の低減を促進させるように製品を設計することである。

⑥寿命の最適化

物理的寿命と美的寿命（つまり製品が魅力的である時間）を可能な限り長くすることである。必ずしも、寿命が長ければ長い方がよいわけではない。例えば、低エネルギー消費技術が開発されている最中ならば、短寿命の方が望ましい。

⑥-1　高い信頼性と耐久性

このために FMEA などが開発されている。

FMEA：Failure Mode and Effect Analysis

⑥-2　容易な保全と修復

経験則としては、保全がほとんど不必要になるように設計する、相対的に早期に交換が必要な部品は互いに近い位置に設置するなどがある。

⑥-3　モジュラーな製品構造

部品交換の比較的容易なモジュラー構造のことである。ユーザーの要求が変化したときにも対応可能になる。

⑥-4　製品とユーザーの強い関係

ユーザーが製品を気に入っていることである。

製品は機能などの維持のために何らかの保全や修理が必要となるが、ユーザーが製品を気に入っているときのみ保全や修理のために時間をさくという仮定に基づいている。経験的には、製品に要求される機能を満たす以上のものを設計するのがよいとしている。

⑦寿命終了時のシステムの最適化

部品や素材の再利用等を図ること、安全な焼却と廃棄物処理を実施することである。

⑦-1　製品の再利用

製品をそのまま、同一又は別の目的に使用することである。

⑦-2　部品の再利用（注 21）

部品を同一又は別の目的に使用することである。

⑦-3　素材の再生

素材の再生可能性を高めること。材料の種類数の低減は有効な実現方法の一つである。サーマルリサイクルは含まない。可能ならば、製品・部品の最利用を優先させるべきである。

⑦-4　環境影響の低い回収手段

環境影響の小さく、エネルギー効率のよい回収手段の選択。例えば、飛行機による運搬は船舶によるそれよりもずっと環境影響は大きい。

⑦-5　エネルギー効率のよい回収ルートの設定

回収品の物流に必要なエネルギーを低く抑えることである。

⑦-6　製品の分解性（注 22）

回収品の分解コストを低くするように設計することである。部品の再利用性にも貢献する。

⑦-7　素材の破砕性

破砕する必要のある部品に破砕の容易な素材を用いることである。

⑦-8　安全な焼却（エネルギー回復）

サーマルリサイクルのことである。再利用、リサイクルが不可能な場合の最善の手段である。

⑦-9　製品の残余の埋め立てにおける安全性

製品を廃棄物として、焼却や破砕等の処理をした後の残余を埋め立て処理する際に、有毒・有害物質が出ないなどの安全性を確保することである。

（注 21）再生資源利用促進法第 2 条第 3 項、再生資源利用促進法施行令第 2 条第 2 項別表第 2 参照。

（注 22）特定家庭用機器再商品化法（以下、家電リサイクル法）第 4 条、家電リサイクル法施行令参照。

（注 23）再生資源利用促進法第 2 条 4 項、再生資源利用促進法施行令第 3 条別表第 3 参照。

⑦-10　素材の組成や廃棄方法の表示

製品に使用する素材の材質や廃棄方法（注 23）などを表示し、分別性などを確保することである。素材の再生等に貢献する。

⑧新コンセプト開発

物理的な製品でなく、製品システムの持つ機能とそれがニーズを充たす方法に焦点を当てた、新たな方法の開発等。製品開発プロセスに先立って行われるもので、マネジメント側が決定するべきことである。

⑧-1　脱物質化

無形の代用のものを用いて同様のニーズを満たすことが一例である。紙の手紙を電子メールで代用することは一例である。

⑧-2　製品共有

製品を所有しないで複数人が同じ製品を使用すること。オランダで採用されている乗用車の共有システム“Call-a-Car System”はその一例である。

⑧-3　機能統合

複数の機能や製品を一つの製品に統合すること。多くの材料とスペースが節約できる。電話、ファックス、留守番機能の一体化や、テレビモニターと PC モニターの統合が一例である。

PC ： Personal Computer

⑧-4　製品（部品）の機能最適化

製品の主要な機能、予備機能を実現するために実現可能な方法を探索し、環境側面から製品を最適化することである。高級感を表現する機能を実現するために香水にぜいたくな包装を施すのではなく、賢くデザインすることによってその機能を実現することは一例である。

⑧-5　消費者の飽きない設計

設計に過度の流行性を持たせないことなどによって、消費者が早期に飽きないように設計することである。流行（のすたれ）などに起因して、物理的寿命を全うしないうちの製品の廃棄を防ぐことを目的としている。

⑧-6　製品の環境に関する情報提供

製品の環境負荷や環境影響に関する情報を製品納入先企業、製品の廃棄業者や消費者に提供すること。環境負荷や環境影響に関する情報には LCA の結果も含まれる。消費者への提供はラベル等によって行われる。

3 環境に関連する日本の法規制情報

環境適合製品設計に関連する可能性がある、我が国の関連法規及び規制の情報を記す。ただし、関連法規及び規制自身を説明するのではなく、あくまでDfEチェックリストの内容を説明するためのポイントにとどめる。実際の企業にとっては、各自治体が制定する条例も関連すると考えられるが、本テキストでは条例は対象外とする。

とり上げた法規は、以下の13の法規制（2000年1月時点）である。

a. 大気汚染防止法
b. 悪臭防止法
c. 騒音規制法
d. 振動規制法
e. 水質汚濁防止法
f. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）
g. 再生資源の利用の促進に関する法律（再生資源利用促進法）(注1)
h. 容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律（容器包装リサイクル法）
i. 特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）
j. 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（化学物質管理促進法、PRTR法）
k. エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネルギー法）
l. エネルギー等の使用の合理化及び再生資源の利用に関する事業活動促進に関する臨時措置法（省エネ・リサイクル支援法）
m. 土壌の汚染に係る環境基準について（環境庁告示第46号）

（注1）同法は2000年6月の改正で、「資源の有効な利用の促進に関する法律」（資源有効利用促進法）と名称が改められています。

DfEチェックリストの項目とその内容を以下に説明する。DfEチェックリストは大きく8グループに分類されている。

（注1） **大気汚染防止法**第2条第3項では、物質の燃焼、合成、分解その他の処理に伴い発生する物質のうち、人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある物質を「ばい煙」に含む有毒物質と定めており、大気汚染防止法施行令第1条にその物質が示されている。

（注2） **大気汚染防止法**第17条では、事故によりばい煙又は特定物質が多量に大気中に排出された場合、事業者が直ちにその状況を行政に通報することを義務づけており、大気汚染防止法施行令第10条に特定物質の内容が示されている。

（注３）**大気汚染防止法**第 22 条では、行政が大気の汚染状況を常時監視することを義務づけており、大気汚染防止法施行令第 11 条別表第５に監視対象物質及びその基準が示されている。

（注４）**水質汚濁防止法**第２条第２項では、規制の対象となる汚水又は廃液に含まれる物質を定めるものとし、水質汚濁防止法施行令第２条にカドミウム等の規制対象物質が示されている。

（注５）**廃棄物処理法**第２条第３項では、一般廃棄物のうち人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有する廃棄物を「特別管理一般廃棄物」として定めており、廃棄物処理法施行令第１条別表第１に特別管理一般廃棄物の内容が示されている。

（注６）**廃棄物処理法**第２条第５項では、産業廃棄物のうち人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれのある性状を有する廃棄物を「特別管理産業廃棄物」として定めており、廃棄物処理法施行令第２条第４項に特別管理産業廃棄物の内容が示されている。

（注７）**化学物質管理促進法（PRTR 法）**第５条第２項では、第１種指定化学物質等取扱事業者に、第１種指定化学物質及び事業者ごとに、毎年度、前年度の第１種指定化学物質の排出量及び移動量に関して行政に届出を行うことを義務づけている。第１種指定化学物質に関しては、化学物質管理促進法第２条第２項にその定義が示されている。

（注８）**再生資源利用促進法**第 12 条では、特定事業者における再生資源の適切な利用を確保するために、行政が指導や助言を行うこととしており、再生資源利用促進法施行令第１条別表第１に対象となる再生資源及びその利用を行う特定業種が示されている。

（注９）**再生資源利用促進法**第２条第５項では、副産物であって、その全部又は一部を再生資源として利用することを促進することが必要なものを「指定副産物」として定めており、再生資源利用促進法施行令第４条別表第４に指定副産物の内容が示されている。

（注 10）**省エネ・リサイクル支援法**第２条第４項第３号では、促進の対象となる特定事業活動として、事業者が行う特定物質の使用の合理化に資する工業製品の製造に係る技術を挙げており、省エネ・リサイクル支援法施行令第２条に、対象となる技術が示されている。

（注 11）**水質汚濁防止法**第５条では、公共用水域に水を排出する事業者が特定施設を設置する際、行政への届出を事業者に義務づけており、水質汚濁防止法施行令第１条別表第１に届出対象施設が示されている。

（注 12）**悪臭防止法**第 11 条では、行政が大気中の特定悪臭物質について

必要な測定を行うことを義務づけており、悪臭防止法施行令第1条に測定対象物質が示されている。

（注13）**騒音規制法**第6条第1項では、指定地域内に「特定施設」を設置する際、行政への届出を事業者に義務づけており、騒音規制法施行令第1条別表第1に特定施設の内容が示されている。

（注14）**振動規制法**第6条第1項では、指定地域内に「特定施設」を設置する際、行政への届出を事業者に義務づけており、振動規制法施行令第1条別表第1に特定施設の内容が示されている。

（注15）**省エネルギー法**第6条第1項では、工場の燃料及びこれを熱源とする熱の使用量が基準値以上であるものを、燃料等の使用の合理化を特に推進する必要がある工場として指定するものとしている。また、工場の電気使用量が基準値以上であるものを、電気の合理化を特に推進する必要がある工場として指定するものとしている。それぞれの基準値は省エネルギー法施行令第2条に示されている。

（注16）**省エネ・リサイクル支援法**第2条第4項第3号では、促進の対象となる特定事業活動として、事業者が行うエネルギーの合理化に資する工業製品の製造に係る技術を挙げており、省エネ・リサイクル支援法施行令第1条に、対象となる技術が示されている。

（注17）**廃棄物処理法**第10条では、事業者に自らその産業廃棄物処理を行うことを義務づけており、廃棄物処理法施行令第2条に産業廃棄物に当たる廃棄物が示されている。

（注18）**容器包装リサイクル法**第11条では、特定容器について、その利用事業者に容器廃棄物の再商品化義務量を示し、再商品化を義務づけている。容器包装リサイクル法施行令第1条別表第1に、対象となる特定容器が示されている。

（注19）**省エネルギー法**第18条には、エネルギーを消費する機械器具のうち、当該性能の向上を図ることが特に必要なものについて、通商産業省は製造事業者等の判断基準となるべき事項を定め、公表するものとしている。省エネルギー法第7条に、対象となる機械器具が示されている。

（注20）**大気汚染防止法**第2条第10項では、自動車の運行に伴い発生する物質で、人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある物質を「自動車排出ガス」として定めており、大気汚染防止法施行令第4条にその物質が示されている。

（注21）**再生資源利用促進法**第2条第3項では、収集もしくは廃棄された後その全部又は一部を再生資源として利用することを促進すべき

製品を「第１種指定製品」として定めており、再生資源利用促進法施行令第２条別表第２にその製品が示されている。

（注 22）**家電リサイクル法**第４条では、特定家庭用機器廃棄物の発生を抑制するよう努めるとともに、特定家庭用機器の設計及びその部品又は原料の選択を工夫することにより、特定家庭用廃棄物の再商品化等に要する費用を低減するよう努力することを製造事業者に義務づけており、家電リサイクル法施行令第１条に対象機器が示されている。

（注 23）**再生資源利用促進法**第２条第４項では、収集もしくは廃棄された後その全部又は一部を再生資源として利用することを目的として、分別回収をするための表示を行う必要があるものを「第２種指定製品」として定めており、再生資源利用促進法施行令第３条別表第３にその製品が示されている。

関連法規を紹介するホームページ
a．経済産業省のホームページ： http://www.meti.go.jp
b．環境省のホームページ： http://www.env.go.jp

4 QFDE の詳細

QFDE で実際に行っている数式を以下に説明する。それに先立ってここで用いる記号を定める。

環境 VOC ： $\{v_i \mid i = 1,\cdots, I\}$
環境 VOC に対する顧客重要度： $\{w_i \mid i = 1,\cdots, I\}$
環境 EM ： $\{m_j \mid j = 1,\cdots, J\}$
従来 VOC ： $\{vt_l \mid l = 1,\cdots, L\}$
従来 VOC に対する顧客重要度： $\{wt_l \mid l = 1,\cdots, L\}$
従来 EM ： $\{mt_m \mid m = 1,\cdots, M\}$
コンポーネント： $\{p_k \mid k = 1,\cdots, K\}$
環境 VOC と環境 EM の関連度： $\{a_{i,j} \mid i = 1,\cdots, I, 1,\cdots, J\}$
VOC と EM の関連度： $\{A_{s,t} \mid s = 1,\cdots, L + I,\ t = 1,\cdots, M + J\}$
フェーズ I で得られる EM の相対的重要度： $\{r_u \mid u = 1,\cdots, M+J\}$
環境 EM とコンポーネントの関連度：
$\{b_{j,k} \mid j = 1,\cdots, J, k = 1,\cdots, K\}$
EM とコンポーネントの関連度：
$\{B_{u,k} \mid u = 1,\cdots, M + J,\ k = 1,\cdots, K\}$
コンポーネント p_k の従来 EM mt_m 、環境 EM m_j の改善率：
$\{C_{u,k} \mid j = 1,\cdots, M + J,\ k = 1,\cdots, K\}$
環境 EM mr_j に対する改善率： $\{mr_j = \mid j = 1,\cdots, J\}$
従来 EM mtr_m に対する改善率： $\{mtr_m = \mid m = 1,\cdots, M\}$
環境 VOC vr_i に対する改善率： $\{vr_i \mid i = 1,\cdots, I\}$
環境 VOC に対する改善効果 wvr_i ： $\{wvr_i \mid i = 1,\cdots, I\}$
改善効果の合計値： B

a.フェーズ I で行っている工学的尺度の総得点を得る計算式を説明する。
環境 EM m_j の総得点は、以下の式によって求める。

$$\sum_{s=1}^{L} A_{s,M+j} \cdot wt_s + \sum_{i=1}^{I} A_{i+L,\,M+j} \cdot w_i$$

従来 EM mt_m の総得点は、以下の式によって求める。

$$\sum_{s=1}^{L} A_{s,m} \cdot wt_s + \sum_{i=1}^{I} A_{i+L,\,m} \cdot w_i$$

b. フェーズ II で行っているコンポーネントの総得点を得る計算式を説明する。

コンポーネント p_k の総得点は、以下の式によって求める。

$$\sum_{u=1}^{M+J} B_{u,k} \cdot r_u$$

c. フェーズ III で行っている計算式を説明する。

(i) コンポーネント p_k の従来 EM mt_m、環境 EM m_j の改善率を定める計算式

$$\{ C_{u,k} \mid j = 1,\cdots, M+J, k = 1,\cdots, K \}$$

簡便性のため、「改善可能／改善不可能」というバイナリ（有無）の判断のみを行い、以下とする。

$C_{u,k} = 1.0$（改善可能の場合）

$C_{u,k} = \ 0$（改善不可能の場合）

(ii) 工学的尺度の改善率を得る計算式

○環境 EM m_j の改善率：$\{ m_j \mid j = 1,\cdots, J \}$ は、以下の式によって求める。

$$mr_j = \frac{\sum_{k=1}^{K} b_{j,k} C_{j+M,k}}{\sum_{k=1}^{K} b_{j,k}} \qquad (j=1,\cdots,J)$$

○従来 EM mtr_m の改善率：$\{ mt_m \mid m = 1,\cdots, M \}$ は、以下の式によって求める。

$$mtr_m = \frac{\sum_{k=1}^{K} B_{m,k} C_{m,k}}{\sum_{k=1}^{K} B_{m,k}} \qquad (m=1,\cdots,M)$$

d. フェーズ IV で行われる計算の定式化を以下で説明する。

(i) 環境 VOC の改善率を得る計算式

環境 VOC vr_i の改善率：$\{ vr_i \mid i = 1,\cdots, I \}$ は、以下の式によって求める。

$$vr_i = \frac{\sum_{m=1}^{M} mtr_m A_{i+L,m} + \sum_{j=1}^{J} mr_j a_{i,j}}{\sum_{t=1}^{M+J} A_{i+L,t}} \qquad (i=1,\cdots,I)$$

(ii) 環境 VOC の改善効果を得る計算式

環境 VOC wvr_i の改善効果：｛wvr_i ¦ $i = 1,\cdots, I$｝は、以下の式によって求める。

$$wvr_i = w_i \cdot vr_i \qquad (i = 1,\cdots, I)$$

(iii) 改善効果の合計値を得る計算式

改善効果の合計値：B は、以下の式によって求める。

$$B = \sum_{i=1}^{I} wvr_i$$

Index

【A ～ Z】

【あ】

【か】

著者　**坂尾　知彦**
東京大学人工物工学研究センター
客員研究員

平成 16 年度経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課委託事業
「循環ビジネス人材教育·循環ビジネスアドバイザー派遣事業」研修用テキスト
環境経営実務コース
Ⅲ　環境適合製品・サービス支援手法コース
ⅢB　環境適合設計（DfE）／製品アセスメント 改 訂 版

平成 16 年 1 月 30 日　発行
平成 17 年 3 月 1 日　2 版

著　者　坂尾　知彦
発行所　社団法人 産業環境管理協会
東京都台東区上野 1-17-6 広小路ビル
電話 03（3832）7084
編集協力　スレッドプランニング